

**Южный федеральный университет
Южный научный центр РАН
Российская академия наук
Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова
Северо-Кавказский научный центр высшей школы ЮФУ**

СБОРНИК ТРУДОВ

СИМПОЗИУМА

«ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ»

(ЛПМ – 2012)

посвященного памяти Г.Г. Петраша

Лоо, 24 - 28 сентября 2012 года

Ростов-на-Дону

2012

СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

Латуш Е.Л. – председатель, д.ф.-м.н., ЮФУ, Ростов-на-Дону.

Иванов И.Г. – учёный секретарь, д.ф.-м.н., ЮФУ, Ростов-на-Дону.

Бойченко А.М. – д.ф.-м.н., ИОФ РАН, Москва.

Бохан П.А. – д.ф.-м.н., ИФП СО РАН, Новосибирск.

Евтушенко Г.С. – д.т.н., ТПУ, ИОА СО РАН, Томск.

Зинченко С. П. – к.ф.-м.н., Южный НЦ РАН, Ростов-на-Дону.

Чеботарев Г.Д. – д.ф.-м.н., ЮФУ, Ростов-на-Дону.

Исаев А.А. – д.ф.-м.н., ФИ РАН, Москва.

Казарян М.А. – д.ф.-м.н., ФИ РАН, Москва.

Карелин А.В. – д.ф.-м.н., ЦНИИМаш, Королев.

Петраш Г.Г. – д.ф.-м.н., ФИ РАН, Москва.

Привалов В.Е. – д.ф.-м.н., С-Пб. ГПУ, Санкт Петербург.

Солдатов А.Н. – д.ф.-м.н., ТГУ, Томск.

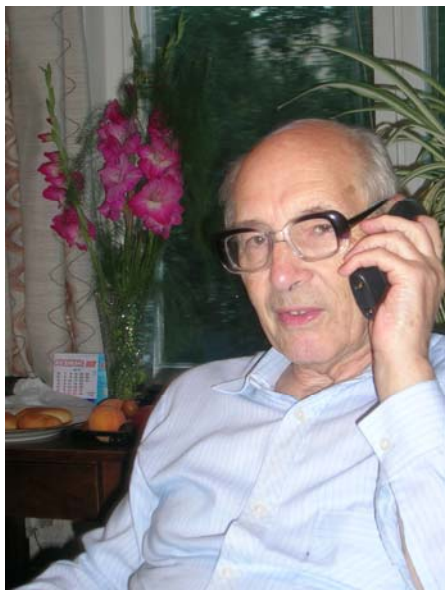
Тарасенко В.Ф. – д.ф.-м.н., ИСЭ СО РАН, Томск.

Толмачев Г.Н. – к.ф.-м.н., Южный НЦ РАН, Ростов-на-Дону.

Тумакова Ж.А. – к.х.н., Сев-Кав. НЦ ВШ ЮФУ, Ростов-на-Дону.

Оргкомитет признателен всем принявшим участие в работе Симпозиума
и представившим материал для публикации в этом сборнике

Георгий Георгиевич Петраш (1929 – 2012)



Георгий Георгиевич Петраш родился 3 августа 1929 года в Ярославле. В 1952 году закончил МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «физика». В его трудовой книжке одна запись: Физический институт им. П.Н. Лебедева Академии наук.

Профессор Георгий Георгиевич Петраш – хорошо известный в мире специалист в области квантовой электроники, спектроскопии, оптики и низкотемпературной плазмы, автор и соавтор более 270 научных работ, в том числе, монографий, изобретений, справочной и энциклопедической литературы. Большой вклад, признанный во всем мире, он внес в изучение импульсных лазеров на парах металлов и их соединений.

На основе его разработок в нашей стране впервые в мире налажено промышленное производство лазеров на парах меди, самых эффективных газовых лазеров, генерирующих в видимой области спектра. К настоящему времени разработан целый типоряд отпаянных лазерных элементов с различной выходной мощностью и для разных применений. Активные элементы для лазеров на парах меди и золота выпускаются до сих пор. Появление практичных отпаянных саморазогревных лазеров позволило приступить к исследованиям и разработкам нового типа оптических систем – оптических систем с усилителями яркости. Первую оптическую систему с усилителем яркости – лазерный проекционный микроскоп удалось осуществить в Оптической лаборатории в 1972 году. За разработку физических принципов, создание и исследование импульсных лазеров на парах металлов и на их основе оптических систем с усилителями яркости Г.Г. Петраш и трое его сотрудников в 1980 г. получили Государственную премию СССР по физике.

Георгий Георгиевич Петраш был членом SPIE, редактором многих томов Proceedings SPIE, членом Ученого и квалификационного Советов ФИАН, членом оргкомитетов и сопредседателем ряда российских и международных научных конференций. Группа, которой руководил Г.Г. Петраш, активно сотрудничала как с российскими, так и с зарубежными исследователями. Особенно тесные контакты были с группами из Болгарии, Шотландии, Австралии.

Георгий Георгиевич Петраш был награжден Грамотой и Почетным дипломом в честь 250-летия АН СССР, Почетным дипломом Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, медалью «За трудовое отличие», медалью «В память 850-летия Москвы». В 2001 году ему было присвоено звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

К.И. Земсков, А.А. Исаев, М.А. Казарян, С.В. Маркова

**Вадим Сергеевич Михалевский – основатель радиофизической школы
в Ростовском университете
(К 100-летию со дня рождения)**



Вадим Сергеевич Михалевский (1912 – 1994) – доктор физико-математических наук, почетный профессор РГУ, основатель и заведующий кафедрой электроники СВЧ физического факультета РГУ, заведующий отделом квантовой радиофизики НИИ Физики РГУ.

В докладе будет рассказано об основных этапах жизненного пути В.С. Михалевского: учеба в университете, аспирантура, служба в армии и участие в Великой Отечественной войне. В 1946 г. им были начаты в РГУ исследования по электронике сверхвысоких частот. В 1962 г. создается новая кафедра "Электроники СВЧ", заведующим которой он был с 1962 по 1986 гг. В 1963 г. В.С. Михалевский инициирует работы по новому направлению – квантовая радиофизика, нацеленное на создание и исследование лазеров на парах металлов. Возглавил эти исследования один из его талантливых учеников Мирослав Францевич Сэм. В 1965 г. была создана лаборатория квантовой радиофизики, а позже отдел квантовой радиофизики в НИИ Физики РГУ. На кафедре и в отделе была открыта генерация на многих новых активных средах и лазерных переходах, созданы непрерывные лазеры с полым катодом и поперечным ВЧ разрядом, открыты рекомбинационные лазеры на парах стронция и кальция, исследовались катафорезные лазеры и многое другое. По инициативе В.С. Михалевского в РГУ были начаты работы по применению лазеров в медицине и терапевтической практике. Ряд лазеров и лазерных установок, созданных в РГУ, выставлялись на ВДНХ СССР и были отмечены медалями выставки.

Параллельно с этим на кафедре и в отделе проводились плодотворные исследования по электронике СВЧ и прикладной электродинамике: исследование новых типов волноводных систем, полосковых и микрополосковых линий, волноводов сложных сечений и др. В 1992 г. кафедра электроники СВЧ разделяется на две – кафедру прикладной электродинамики и компьютерного моделирования и кафедру квантовой радиофизики. Это было следствием интенсивного

развития и признания достижений двух научных школ, созданных В.С. Михалевским. Возглавили кафедры его ученики профессора Г.П. Синявский и М.Ф. Сэм. В докладе будет рассказано об основных результатах и направлениях научной деятельности этих школ.

Кроме научной и научно-организационной работы, В.С. Михалевский много внимания уделял учебной работе. Он был талантливый педагог, им подготовлено более 10 курсов лекций, под его руководством были организованы и хорошо оснащены учебные лаборатории по квантовой радиофизике, электронике СВЧ, вакуумной технике, общей электронике, физике газового разряда и др.

В.С. Михалевский подготовил более 50 кандидатов и 5 докторов наук. Двое его учеников стали лауреатами Государственной премии СССР. Он автор более 300 научных работ, 3 монографий, 5 авторских свидетельств.

Е.Л. Латуш

ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТНОГО КИНО, ТЕЛЕВИЗИОННОГО
3D ИЗОБРАЖЕНИЯ НА БОЛЬШОМ ЭКРАНЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ
НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

А.С. Аверюшкин¹, В.Л. Евстигнеев², М.А. Казарян¹, Н.А. Лябин³,
Ю.М. Мокрушин⁴, Е.А. Морозова⁵, В.Е. Роголин²,
В.И. Сачков⁶, О.В. Шакин⁷

¹ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

²НПО «Астрофизика», г. Москва

³НПО «Исток», г. Фрязино, Московская область

⁴С.-П. государственный технический университет, г. Санкт-Петербург

⁵Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

⁶СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск

⁷ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург

Продемонстрирована возможность построения 3D цветной проекционной системы на основе трех основных цветов: красного, зеленого и синего. В качестве источников света использованы соответственно лазеры на парах золота, меди и перестраиваемый конвертор в синей области спектра, а для модуляции - акустооптические модуляторы на основе парателлурита.

РАЗМЕРНО-СТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Аверюшкин А.С.¹, Андрюшин И.А.¹, Булычев Н.А.¹, Казарян М.А.¹,
Леонтович А.М.¹, Лидский В.В.¹, Сачков В.И.², Хохлов Э.М.³

¹*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

²*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

³*Учреждение Российской академии наук Институт общей физики
им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

Произведена наработка наночастиц серебра, выявлены параметры сфокусированного лазерного излучения лазера на парах меди: частота повторения – 10 кГц, длительность импульса генерации 15-20 нс, средняя мощность 3-5 Вт. Использовались два вида резонаторов – плоский и неустойчивый с коэффициентом увеличения – 50.

Проведен анализ полученных размеров наночастиц. Обнаружен пик значения – около 70 нм, а также более крупные конгломераты, последние являются, по-видимому, следствием временного укрупнения размеров после лазерного воздействия. Измерения проведены на приборе, основанном на принципе многократного динамического светорассеяния. Приводятся предварительные результаты по лазерной абляции золота для целей использования наноструктур в плазерах.

Работа частично поддержана грантом РФФИ – 12-02-01094.

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НАНООБЪЕКТОВ, КАК ВОЗМОЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПАЗЕРОВ

Аверюшкин А.С.¹, Андриенко О.С.², Андрюшин И.А.¹, Булычев Н.А.¹,
Казарян М.А.¹, Леонтович А.М.¹, Лидский В.В.¹,
Сачков В.И.³, Хохлов Э.М.⁴

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

²*Институт оптики атмосферы им В.И. Зуева, г. Томск*

³*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

⁴*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

Одна из наиболее актуальных проблем современной оптики нанообъектов и физики твердого тела является задача создания наноструктур, обладающих свойствами спазерной генерации излучения. Практический интерес связан с возможностью широких применений устройств на основе плазменных эффектов в структурированных нанообъектах. В зависимости от решаемых научно-технических проблем, необходимо достигнуть генерации света, в частности, в видимой области света. В уже рассмотренных схемах спазеров используются наночастицы с металлическим ядром, окруженным тонким изолирующим слоем, матрицей из молекул красителя и системой накачки, а также более сложные гибридные плазмонные волноводы с полупроводниковой основой. Такие нанообъекты позволяют получать лазерное излучение в видимой области спектра, при этом характерная длина волн излучения более чем на порядок превосходит характерные геометрические размеры соответствующих наноструктур. В данной работе сообщается о лазерно-индуцированной абляции пластин из серебра в жидкой среде, получении наноструктур с характерными размерами в десятки нм. Обсуждаются особенности оптической схемы, а также перспективы развития данного метода создания наноструктур для использования в устройствах, предназначенных для изучения особенностей люминесценции наноструктур и создания спазеров.

Работа частично поддержана грантом РФФИ – 12-02-01094.

ЛАЗЕРНОЕ ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЕ СТЕКОЛ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ

Айрян Ш.¹, Власов С.¹, Дьяков Ю.¹, Казарян М.А.², Калугин М.М.³,
Мокрушин Ю.М.³, Шакин О.В.⁴, Сачков В.И.⁵

¹*Академия Синика, Тайпей, Тайвань*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*Санкт-Петербургский ГПУ(госуд. полит. университет), г. Санкт-Петербург*

⁴*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург*

⁵*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

В работе использовалась сконструированная специальная лазерная система на основе генератора-усилителя со связанным резонатором. Средняя суммарная выходная мощность системы могла достигать 30 Вт на длинах волн 510 и 578 нм при частоте повторения 15625 Гц. Изучались вопросы термораскалывания прочных стеклянных пластин в режиме 2D-резки. Оптическая система обеспечивала пятно фокусировки излучения второй гармоники лазера на парах меди в виде эллипса с соотношением 3:1. Размер минимальной диагонали равнялся 25 мкм и соответствовал плоскости фазового синхронизма нелинейного кристалла ВВО. Расходимость излучения в этой плоскости составляла величину $2,5 \cdot 10^{-4}$ рад. Резка производилась на длинах волн 255 и 271 нм при средней мощности 1,2 – 1,5 Вт. Длительность импульса составляла 15 нс. Качество реза оценивается как высокое.

ПЛЕНКИ ТИТАНАТА-ЦИРКОНАТА СВИНЦА НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ В РАЗРЯДЕ С УБЕГАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ ДЛЯ ИК ПРИЕМНИКОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.М. Алиев, Л.И. Киселева, Г.Н. Толмачев

Южный научный центр РАН, НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

В газовых разрядах с убегаящими электронами происходит формирование пучков электронов с энергиями, приблизительно равными приложенному напряжению. Такие разряды широко используются в технологии роста пленок [1], в газовых лазерах с поперечными типами разрядов [2]. На настоящий момент в таких разрядах получены наноразмерные пленки BST и BFO с рекордным структурным совершенством [1]. В качестве подложек при этом используются монокристаллический MgO.

Интересной подложкой, с точки зрения интегральной электроники, является кристалл Si, а катодом титанат-цирконат свинца. На основе пленок титаната-цирконата свинца можно формировать структуры металл-сегнетоэлектрик-полупроводник, которые могут использоваться в качестве детекторов лазерного излучения в далекой ИК-области спектра [1].

При формировании пленок использовалась установка высокочастотного напыления «Плазма-50», производство Россия, г. Воронеж [1]. В качестве подложки использовался кремний ориентации 111, диаметр катода 50мм, расстояние мишень-подложка варьировалось от 10 до 15мм. Напыление производилось в атмосфере O₂ при давлении 0,5 Торр, ВЧ напряжении на разрядной трубке 0,7-1,0 кВ. Полученные пленки обладали высокой степенью однородности, повышенной адгезией пленки и подложки. Рентгеноструктурный анализ показал наличие пиков титаната-цирконата свинца в пировскитной фазе. На пленки наносились электроды из алюминия с подслоем хрома.

Проводятся работы по исследованию фотоэлектрических, пироэлектрических и других свойств полученных структур с целью использования их в качестве приемников лазерного излучения в видимой, ближней и дальней ИК областях спектра.

- [1] V M.Mukhortov, Y.I. Golovko, G.N. Tolmachev, A.N. Klevtzov. The synthesis mechanism of complex oxide films formed in dense RF- plasma by reactive sputtering of stoichjometric targets. // Ferroelectrics, 2000, 247, 1-3, P.75-83.
- [2] Е.Л Латуш, В.С Михалевский, М.Ф Сэм, Г.Н Толмачёв., В.Я. Хасилев. Генерация на ионных переходах металлов при поперечном ВЧ возбуждении. // Письма в ЖЭТФ. 1976, Т.24, №2, С. 81-83.
- [3] Некоторые особенности проявления сегнетоэлектрических свойств в плёнках (Ba,Sr)TiO₃, выращенных на подложках из монокристаллов кремния. В.М. Мухортов, С.В. Толстоусов, С.В. Бирюков, В.П. Дудкевич, Е.Г. Фесенко. // ЖТФ, 1981, Т.51, В.7, С.1524-1528.

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ И ПАРАМЕТРЫ ОБЛАКА ПЫЛИ НА ГРАНИЦЕ СЛОЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА ПРИ РАСПЫЛЕНИИ КЕРАМИКИ BST В ЕМКОСТНОМ ВЧ РАЗРЯДЕ

Алихаджиев С.Х., Пляка П.С., Толмачев Г.Н.

НИИ физики ЮФУ, Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

Ранее сообщалось, что при распылении керамической мишени PZT в емкостном ВЧ разряде [1] при отсутствии подложечного блока на границе слоя пространственного заряда происходит накопление микрочастиц в виде тонкого диска [1]. В то же время при наличии подложки с блоком нагрева такое скопление не наблюдается [1,2]. Нами проведены исследования зависимости плотности облака микрочастиц при распылении керамических мишеней BST от параметров разряда и геометрии разряда.

Эксперименты проводились в камере напыления тонких пленок сложных оксидов при режимах, близких к оптимальным для синтеза пленок. ВЧ распыление осуществлялось в среде кислорода при давлении около 0,5 Торр. Положение и плотность облака микрочастиц определялись по интенсивности рассеянного под углом 90 градусов излучения He-Ne лазера. Газоразрядная камера помещалась на подвижной платформе и перемещалась в автоматическом режиме относительно лазера и монохроматора оптической системы регистрации.

Получены зависимости плотности и положения облака микрочастиц от рабочего давления в камере и подводимой ВЧ мощности. Показано, что существует максимальное значение плотности по обоим параметрам. Сравнительными исследованиями при распылении мишени из металлического титана выявлены существенные отличия. В частности скорость образования облака и его плотность при распылении титана в ВЧ разряде существенно ниже, чем при распылении керамической мишени. А при распылении металлической мишени в разряде постоянного тока облако еще и нестабильно.

Дополнительно установленный металлический экран в форме диска диаметром 80 мм с плоскостью, параллельной мишени, имитировал подложечный блок. При его перемещении вдоль оси камеры при помощи микрометрического винта изменялась плотность облака микрочастиц. Получены зависимости интенсивности рассеянного света лазера от расстояния от экрана до катода в диапазоне от 15 до 120 мм. Измерения осуществлялись при различных давлениях и двух диаметрах распыляемой керамической мишени 48 мм и 42 мм.

При подаче постоянного потенциала отрицательной полярности на металлический экран зафиксировано снижение плотности облака при превышении некоторого порогового значения. Положительный потенциал влияния на скопление микрочастиц не оказывает.

- [1] Зинченко С.П. Лазерный мониторинг процесса газоразрядного напыления сегнетоэлектрических пленок. // Симпозиум «Лазеры на парах металлов» (ЛПМ-2010), Лео, 20-24 сентября 2010 г., с. 112-113.
- [2] Мухортов В.М., Юзюк Ю.И. Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства и применение. // Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008, 224 с.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НУКЛЕАЦИИ НАНОЧАСТИЦ

Андриенко О.С.¹, Сухорукова П.В.¹, Казарян М.А.², Чернышев Л.Е.³,
Муравьев Э.Н.⁴, Собко А.А.⁵, Бирюков А.С.⁶, Булычев Н.А.²,
Андрюшин И.А.², Малиновская Т.Д.⁷, Гусев Л.А.⁸, Сачков В.И.⁷

¹*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*ТРИНИТИ, г. Троицк*

⁴*«ОАО» НИТС» г. Москва*

⁵*Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова, г. Москва*

⁶*НЦВО РАН, г. Москва*

⁷*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

В последнее время проявляется большой интерес к методам разделения изотопов в процессе перезамораживания электролитов в связи все расширяющимися областями их применений. В работе производится оценка размеров образующихся формирований исходя из параметров жидкости. Показано, что поверхностное натяжение обеспечивает устойчивость формирования новой фазы на ранней стадии формирования ее из начального зародыша малых размеров. Замораживающее вещество собирается в виде твердых сгустков с размерами соответствующими поверхностному натяжению границы твердого тела. Эффективность процесса может увеличиваться если процесс охлаждения смеси не является естественным, а поддерживается термостатом например лазерным с соответствующей для данной среды длиной волны излучения. Вычисленное таким образом давление в среде свидетельствует о правильности описания агрегатного состояния конденсированного вещества. Рассматривается влияние лазерного излучения в сочетанном методе.

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

И.А. Андрюшин¹, Н.А. Булычев¹, М.А. Казарян¹, Э.Н. Муравьев², В.И. Сачков³

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

²*ОАО НИТС, г. Москва*

³*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

Показано, что существующая в жидкости в интенсивном ультразвуковом поле выше порога кавитации новая форма электрического разряда может быть эффективно использована для инициирования различных физических и химических процессов. В таком соноплазменном разряде наблюдаются интенсивные химические превращения, меняется химический состав жидких углеводородов, образуется водородосодержащий горючий газ, твердофазные продукты, представляющие собой агломераты наночастиц, имеющих различную морфологию поверхности, а также наночастицы оксидов элементов, входящих в состав элементарноорганических соединений.

МЕХАНИЗМЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ НА ПЕРЕХОДАХ ИОНА ТАЛЛИЯ В СМЕСЯХ Ne-Tl

Бельская Е.В., Бохан П.А., Закревский Д.Э.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск*

Получены и исследованы лазерные генерации на следующих длинах волн иона таллия: 1.922, 1.385, 0.595, 0.695, 0.707 мкм, из которых генерация на первых двух линиях была получена впервые. Активная среда возбуждалась электронным пучком, генерируемым в открытом разряде. Использовалась высокотемпературная коаксиальная лазерная кювета большого объема с длиной активной зоны $L=50$ см и диаметром $D=5$ см.

Оптимальный диапазон генерации лазерного излучения по давлению таллия довольно широк и составляет 0.07...0.5 Торр. Получено, что мощность лазерной генерации повторяет зависимость тока от напряжения. При этом в исследуемых диапазонах насыщения мощности излучения от мощности разряда не наблюдалось. Зависимость мощности генерации излучения от частоты линейна до $f=3.2$ кГц, ограниченной источником питания. Характеристики генерации свидетельствует о перспективности использования открытого разряда в качестве источника электронного пучка для накачки лазерных переходов, возбуждаемых в процессах перезарядки с иона буферного газа.

Наивысшая эффективность генерации лазерного излучения, определенная как отношение числа фотонов к числу ионов таллия, прошедших через верхнее рабочее состояние, составляет 11.4 % и получена для длины волны 595.1 нм в селективном для видимого диапазона резонаторе. Выявлена конкуренция переходов с уровнями $T\Pi(^{1,3}P^0)$, ограничивающая генерацию на длинах волн в видимом диапазоне (595.1 и 695.3 нм) в оптическом резонаторе, работающем в широком спектральном диапазоне. Показано, что малая мощность и малая эффективность генерации на линиях в видимом диапазоне спектра обусловлена реabsорбцией излучения в системе нижних уровней иона таллия, что увеличивает их время жизни.

ВЛАГОЗАЩИЩЕННЫЕ ЛЮМИНОФОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Большухин В.А.¹, Геворкян В.А.², Казарян М.А.³, Погосян М.А.²,
Мхитарян Р.Г.⁴, Минасян С.Г.⁵, Мовсисян Г.Д.⁵, Морозова Е.А.⁶,
Семендяев С.В.⁷, Демин В.И.³, Дацкевич Н.П.³, Григорян К.⁸,
Андриенко О.С.⁹, Сухорукова П.В.⁹, Сачков В.И.¹⁰

¹ФГУП Научно исследовательский институт «Платан», г. Фрязино

²Российско-Армянский (Славянский) государственный университет, г. Ереван

³ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

⁴Ереванский государственный медицинский университет, г. Ереван

⁵ЭКО-МОНИТОРИНГ, г. Ереван

⁶Учреждение Российской академии наук Институт общей физики
им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва,

⁷Московский физико-технический университет, г. Москва

⁸Институт химической физики, г. Ереван

⁹Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

¹⁰СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск

В настоящее время проявляется интерес к различным применениям люминофоров с длительным послесвечением для целей предупреждения и раскрытия различных пространственно-временных событий, в том числе для целей МЧС. Экспериментально реализованы влагозащищенные люминофорные элементы различной конструкции на основе полимерных и стеклообразных материалов. При этом конструктивно эти элементы могут принимать произвольную 3D форму. Для элементов класса $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ и др. при использовании лазерного, светодиодного или естественного освещения время достаточно яркого послесвечения может составлять 30 мин и более. Все это позволяет широко использовать их для определения пространственно-временных координат различных событий в рамках поисковых и сыскных работ.

ЛАЗЕР НА ПАРАХ БРОМИДА С НАКАЧКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

П.А. Бохан, П.П. Гугин, Дм.Э. Закревский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

Проведены исследования возбуждения парогазовой смеси неон – бромид меди импульсным электронным пучком, сформированным внутри активного объема «открытым разрядом». Конструкция коаксиальной ячейки: рабочий диаметр 5 см, длина активной зоны 30 см. Энергия электронного пучка достигала 8 кэВ, ток до 1 кА, длительность импульса тока ~ 40 нс, давление неона до 20 Тор, паров бромида меди $10^{-3} \dots 1$ Тор; режимы возбуждения: регулярные импульсы (1 – 3 кГц); вдвоенные импульсы, режим пачки импульсов (длительность пачки 1 мс, частота заполнения 10 кГц). Получена и исследована генерация когерентного излучения на переходах ($4p \ ^2P_{3/2}^0 - 4s^2 \ ^2D_{3/2}$) с $\lambda=510.6$ и ($4p \ ^2P_{1/2}^0 - 4s^2 \ ^2D_{3/2}$) с $\lambda=578.2$ нм. Методом вдвоенных импульсов проведены исследования частотных характеристик лазера (рис. 1). Из сравнения времен восстановления генерации при газоразрядном возбуждении (кривая 1), измеренных методом разнесенных областей поглощения и генерации и при ЭП - возбуждении (кривая 2), сделан вывод о том, что восстановление генерации при ЭП накачке определяется скоростью релаксации метастабильных состояний.

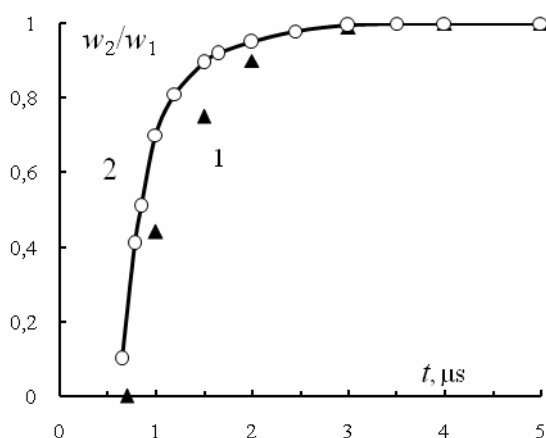


Рис.1. Частотно-энергетическая характеристика $CuBr$ - лазера с ЭП - возбуждением: 1 – газоразрядное возбуждение ($U=7.5$ кВ, Бохан П.А. Закревский Д.Э. // ЖТФ 67, 54 (1997)); 2 – ЭП - возбуждение.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК CuBr-Ne-H₂ ЛАЗЕРА

П.А. Бохан, П.П. Гугин, Дм.Э. Закревский, В.А. Ким

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

Исследованию механизма генерации лазера на смеси *CuBr-Ne-H₂* посвящено огромное количество работ. Тем не менее, не проведено экспериментальное исследование энергетических характеристик лазера при изменении в широких пределах регулярной частоты следования импульсов при неизменной энергии импульса накачки, как это было выполнено для гибридного лазера [1]. Многочисленные исследования в режиме постоянной средней мощности накачки продемонстрировали работоспособность *CuBr* лазера до частот в сотни кГц [2]. Поэтому представляет определённый интерес исследование частотно-энергетических характеристик *CuBr* лазера в частотном режиме при постоянной энергии импульса накачки.

В настоящей работе проведены исследования характеристик генерации в диапазоне 9-33 кГц в трубке с диаметром 2.7 см и длиной 120 см. Накачка осуществлялась с помощью лампового источника питания, генерирующего импульсы с регулируемой длительностью амплитудой до 25 кВ и током до 200 А с фронтом нарастания ~30 нс. Оказалось, что в диапазоне исследованных частот зависимость выходной мощности носит немонотонный характер и может изменяться до двух раз при изменении частоты на 1.2 кГц. Исследование поведения населенностей метастабильных состояний в послесвечении и изменение характеристик импульса накачки показало, что они не могут вызывать такие резкие изменения мощности. Высказано предположение, что эти колебания связаны, как и в мощном *He-Eu⁺* лазере, с раскачкой акустических колебаний в рабочей трубке.

- [1] Withford M.J., Brown D.J.W., Mildren R.P. et al. // Progress in Quantum Electronics, 28, 165 (2004).
- [2] Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. ТПУ, 2010.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАЦИИ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ЛАЗЕРА НА СМЕСИ Cu-Ne ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ С СУБНАНОСЕКУНДНЫМ ФРОНТОМ НАРАСТАНИЯ

П.А. Бохан¹, П.П. Гугин¹, Дм.Э. Закревский¹, М.А.Лаврухин¹,
М.А. Казарян², Н.А. Лябин³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

³ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино, Московская область

Достигнутая практическая эффективность генерации медного лазера η_r в импульсно-периодическом режиме все ещё далека от квантовой эффективности η_q и в лучших приборах $\eta_r \sim 0.1 \eta_q$ [1,2]. Так как скорости элементарных процессов в смеси Cu-Ne определены с высокой точностью [3], то можно выделить основные причины, препятствующие получению высоких η_r . В режиме одиночных импульсов требования к скорости развития разряда обуславливают необходимость использования высоких значений E/N (E – напряженность электрического поля, N – концентрация частиц), что приводит к большим потерям на ионизацию атомов меди и быстрому развитию ступенчатых процессов. В частотном режиме (или режиме сдвоенных импульсов) затраты на создание плазмы уменьшаются благодаря значительной остаточной концентрации электронов. В этом случае можно подобрать оптимальную величину E/N и форму импульса возбуждения, при которой эффективность генерации может достигать $\sim 10\%$, что показано теоретически, так и экспериментально [1,4,5]. Основным препятствием на пути реализации лазеров с большой мощностью и эффективностью является отсутствие необходимой коммутационной техники.

Для получения прямоугольных импульсов накачки с субнаносекундным фронтом нарастания, требуемых для получения высоких η_r по модели [1,5] в настоящей работе использовался коммутатор на основе открытого разряда, способный при напряжении $U > 10$ кВ коммутировать импульсы с фронтом менее 1 нс [6]. Использовалась трубка с встроенным нагревателем диаметром 2 см и длиной 48 см, изготовленная в ФГУП «Исток». Возбуждение лазера проводилось как в режиме сдвоенных импульсов, так и в режиме цуга с длительностью 1 мс. Приводятся характеристики генерации и обсуждается реальность достижения $\eta_r \sim 10\%$ в лазерах с большой погонной мощностью излучения более 100 Вт/м.

- [1] В.М. Батенин, П.А. Бохан, В.В. Бучанов, Г.С. Евтушенко и др. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов, т.1,2. М.: Физматлит, 2011.
- [2] А.Г. Григорьянц, М.А. Казарян, Н.А. Лябин, Лазеры на парах меди: конструкция, характеристики и применения. – М.: Физматлит, 2005.
- [3] R.J. Carman, D.J.W. Brown, J.A. Piper. // IEEE J Quantum Electronics, 30, 1876 (1994).
- [4] А.Н. Солдатов, В.Ф. Федоров, Н.А. Юдин. // Квантовая электроника, 21, 733 (1994).
- [5] И.И. Климовский, Теплофизика высоких температур. // 27, 1190 (1989).
- [6] П.А. Бохан, П.П. Гугин, Дм.Э. Закревский и др. // Письма в ЖТФ, 32(8), 63 (2012).

СТОЛКНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ТУШЕНИЯ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ СВИНЦА МОЛЕКУЛАМИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ И ДОСТИЖЕНИЯ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ СЛЕДОВАНИЯ В СВИНЦОВОМ ЛАЗЕРЕ.

П.А. Бохан, Дм.Э. Закревский, В.А. Ким, Н.В. Фатеев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

Лазерное разделение изотопов имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными методами и широко развивается в результате применения лазеров, что привело к появлению новых схем разделения на основе фотофизических и фотохимических процессов. В данной работе экспериментально исследованы столкновения метастабильных состояний МС атомов с различными молекулами, с использованием контроля продуктов реакции с помощью резонансного излучения от лампы с полым катодом и *Pb*-лазера. Эксперименты проведены с газовым потоком атомов свинца с аргоном. Компоненты фотохимической реакцией осаждались на стенки реакционной камеры. Состояния *Pb*($6p^2\ ^1D_2$) и другие МС возбуждались в газовом разряде в присутствии молекул газа-реагента или за счет спонтанного распада изотопически селективного возбужденного $7s^3P_1^0$ состояния. Резонансное $7s^3P_1^0$ состояние возбуждалось излучением второй гармоники ($\lambda=283$ нм) перестраиваемого лазера на красителе, накачиваемого излучением лазера на парах меди. В работе проведено разделение каналов физического k_2 и химического тушения k_1 и измерение констант этих процессов. Получены абсолютные значения констант скоростей тушения и химических реакций атомов *Pb* в основном k_0 и возбужденном состоянии k . Наиболее важные результаты приведены в таблице.

Молекула	Константа скорости, k_0 , см ³ /с	Константа скорости, k , см ³ /с	k_1/k_2	Степень выжигания β , (давление газа-реагента, Тор)	Квантовая эффективность η
N_2O	10^{-15}	$(4.3 \pm 0.9) \times 10^{-12}$	>10	0.19 (0.02)	≈ 1
CH_2Cl_2	8.2×10^{-13}	$(3.3 \pm 0.7) \times 10^{-10}$	>10	0.43 (0.0027)	≈ 1
SF_6	1.6×10^{-16}	$(1.6 \pm 0.3) \times 10^{-11}$	2.3	0.37 (0.068)	0.7
<i>CuBr</i>	4.5×10^{-13}	$(1.9 \pm 0.4) \times 10^{-9}$	0.35	0.7 (0.00045)	0.26

Высокие скорости тушения МС молекулами также могут быть использованы для реализации мощных лазеров, в том числе для получения столкновительной генерации.

Работа выполнена в рамках Государственного Контракта № 14.518.11.7008.

ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗОТОПИЧЕСКИ СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ $16F_{5/2}$ СОСТОЯНИЙ АТОМА ТАЛЛИЯ

П.А. Бохан, Дм.Э. Закревский, В.А. Ким, Н.В. Фатеев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

Для лазерного разделения изотопов атомов таллия экспериментально исследована схема изотопически селективного возбуждения и ионизации в электрическом поле ридберговских состояний. Возбуждение в $n^2F_{5/2}$ ($n=13-24$) состояния осуществлялось из основного по двухступенчатой схеме $6^2P_{1/2} \rightarrow 6^2D_{3/2} \rightarrow n^2F_{5/2}$ через промежуточное $6^2D_{3/2}$ состояние монохроматическими излучениями двух перестраиваемых по частоте лазеров.

На первой ступени возбуждение осуществлялось излучением второй гармоникой лазера на красителе *Pyrometene 556* ($\lambda = 553$ нм, длительность импульса $\tau \approx 9$ нс, ширина линии $\Delta\nu_L \approx 400$ МГц), а на второй излучением лазера на красителе *Styryl 11* ($\lambda = 773-808$ нм, $\tau \approx 14$ нс, $\Delta\nu_L \approx 1$ ГГц). В качестве накачки лазеров на красителях применялось импульсное излучение лазера на парах меди, работающего с частотой повторения 11 кГц, длительностью импульсов по полувысоте 15 нс.

Эксперименты проведены с коллимированным атомным пучком с концентрацией $n \approx 3 \times 10^{11}$ см⁻³ и величиной области взаимодействия с лазерным излучением $(1 \times 2 \times 15)$ см³. Изотопическое расщепление для ^{203}Tl и ^{205}Tl на переходе первой ступени $6P_{1/2} \rightarrow 6D_{3/2}$ ($F=0 \rightarrow F=1$) ($\lambda = 276.9$ нм), зарегистрированное по сигналу люминесценции с $\lambda = 352$ нм, составило величину 1.21 ГГц. Экспериментально определены плотности мощности насыщения на переходах $6P_{1/2} \rightarrow 6D_{3/2}$ и $6D_{3/2} \rightarrow$ в $16^2F_{5/2}$. При использовании импульса ионизирующего электрического поля с величиной напряженности электрического поля 7.8 кВ/см измерен ионный ток, обусловленный ионизацией $16^2F_{5/2}$ состояния. Показано, что его величина определяется количеством атомов, возбужденных в ридберговские состояния, что свидетельствует о высокой эффективности использования лазерного излучения. В работе изучены эффекты, вызывающие уширение резонансов поглощения и уменьшение изотопической селективности лазерного возбуждения в пучке атома таллия под действием монохроматического лазерного излучения. Основной вклад вносит полевое уширение резонансов, которое определяет верхнюю границу средней мощности лазерного излучения.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ СУБНАНОСЕКУНДНЫЕ КОММУТАТОРЫ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ «ОТКРЫТОГО РАЗРЯДА» В КОАКСИАЛЬНОЙ И ПЛАНАРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

П.А. Бохан, П.П. Гугин, Дм. Э. Закревский, М.А. Лаврухин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск

Одним из потенциально возможных способов повышения средней мощности и эффективности лазеров на самоограниченных переходах является уменьшение фронта нарастания импульса тока накачки, определяемого коммутатором источника питания. Основными коммутаторами, используемыми в указанных целях, являются тиратроны и лампы, время срабатывания которых составляет 5-50 нс. Перспективным источником формирования импульсов с коротким фронтом нарастания могут служить обострители на основе «открытого разряда», способные формировать высоковольтные импульсы на высокой частоте (десятки килогерц) с фронтами нарастания напряжения менее 1нс. «Открытый разряд» является особым типом газового разряда с доминирующим механизмом фотоэмиссии и реализуемым в узком зазоре 1-10 мм (в зависимости от прикладываемого напряжения) между цельным катодом и сетчатым анодом. Для исследований были сконструированы обострители с различной геометрией: планарная («сэндвич») и коаксиальная, и с различными катодными материалами. Исследования коммутационных и частотных характеристик проводились с различными рабочими средами обострителей: гелий, неон, смеси гелия с водородом и неона с водородом. Частота формирования импульсов на обострителе задавалась тиратроном.

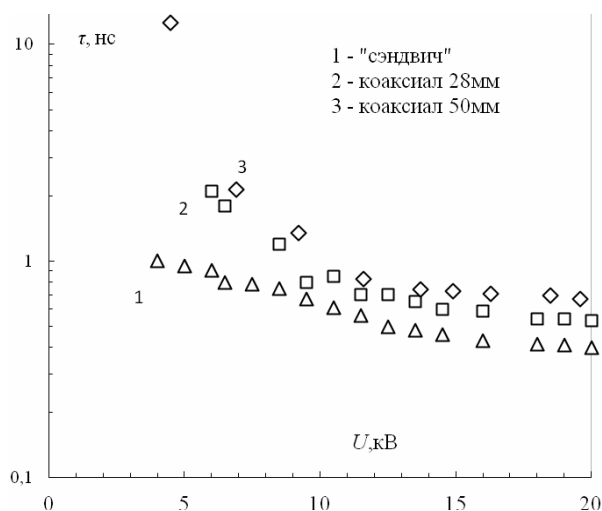


Рис. Времена коммутации обострителей на основе открытого разряда в зависимости от напряжения.

Результаты исследований сдвоенными импульсами показали работоспособность обострителей на основе «открытого разряда» при частотах более 30 кГц. Минимальная длительность коммутации была реализована в геометрии «сэндвич» в смеси гелия с водородом и составила менее 0.5 нс (рис.) при эффективности более 90%.

Работа выполнена в рамках
Государственного Контракта
№ 11.519.11.6037.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПЛАЗМОИНДУЦИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ С УСИЛИТЕЛЕМ ЯРКОСТИ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ

Бужинский О.И.², Губский К.Л.¹, Кузнецов А.П.¹,
Протасов А.А.¹, Фролов В.И.¹

¹Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), г. Москва

²ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ, г. Троицк, Московская область

Представлен метод визуализации зон взаимодействия мощных потоков энергии с поверхностями различных веществ непосредственно во время взаимодействия. Метод заключается в использование усилителя яркости на основе Си-лазера, работающего в одноканальном режиме суперлюминесценции. В традиционных оптических схемах (без усилителя яркости) основным фактором, затрудняющим наблюдение этих зон, определяется образованием над ними ярко светящейся плазмы, создающей сильную засветку.

В работе исследованы возможности метода для наблюдения изображения объектов, находящихся на расстояниях до 5 м от лазера при сильной фоновой засветке. В качестве фоновой засветки использовалась плазма эрозионного капиллярного разряда в воздухе. Проведены исследования зависимости контраста получаемого изображения от параметров оптической схемы, в частности, расстояния между объектом и лазером.

Практически все публикации, посвященные применению проекционного микроскопа на основе лазера на парах меди, посвящены визуализации поверхностей твердых тел. Работы, посвященные визуализации градиентов показателя преломления среды, отсутствуют. Вместе с тем, за счет достаточно короткой длительности импульсов (< 20 нс) с помощью лазера на парах меди можно регистрировать контрастные изображения быстро протекающих процессов, а частота повторения ~ 14 кГц позволяет проводить многокадровую съемку и получать информацию о пространственно-временной динамике плазменного образования. В представленной работе усилитель яркости был применен для теневого фотографирования динамических процессов плазмообразования. Для повышения чувствительности к локальным возмущениям оптической плотности необходимо использовать оптические пучки с минимальной, дифракционной расходимостью. В работе это было достигнуто за счет формирования низкодобротного плоского резонатора, внутри которого помещался исследуемый объект.

ПЛАЗМЕННЫЙ РАЗРЯД С ОБЪЕМНЫМ СВЕЧЕНИЕМ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Н.А. Булычев¹, М.А. Казарян¹, Е.С. Гриднева², Е.А. Морозова³,
Э.Н. Муравьев⁴, В.Ф. Солинов⁴, К.К. Кошелев⁵,
О.К. Кошелева⁶, В.И. Сачков⁷, С.Г. Чен⁶

¹ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

²Московский Государственный Университет инженерной экологии

³Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

⁴«ОАО НИТС», г. Москва

⁵«ООО НИХТИ», г. Переяславль-Залесский

⁶Геномик исследовательский центр Академии Синика, Тайпей, Тайвань

⁷СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск

В настоящей работе показано, что в жидкости в интенсивном ультразвуковом поле выше порога кавитации может существовать специфическая форма электрического разряда, с объемным свечением во всем пространстве между электродами и возрастающей вольт-амперной характеристикой, присущей аномальному тлеющему разряду в газе. Такой разряд можно инициировать между плоскими или стержневыми электродами в жидкости в режиме развитой кавитации, возбуждаемой ультразвуковым акустическим полем. Установлено, что при кавитации между электродами, погруженными в жидкость, возникает плазменный шнур, который стабилен при относительно малых напряжениях (около 30-60 вольт) и величинах тока 4-8 ампер.

Работа поддежана: грантом Программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН за 2012 год «Поддержка инноваций и разработок».

СЕЛЕКТИВНОСТЬ ФОТОВОЗБУЖДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОГО ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

В.В. Бучанов¹, М.А. Казарян², В.И. Сачков¹

¹*Сибирский физико-технический институт ТГУ, г. Томск*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

Согласно экспериментальным данным в отсутствии излучения, отношение констант каталитических реакций с участием изотопов углерода ^{12}C и ^{13}C находится на уровне 1,034-1,037. Селективность нефотоактивированных химических реакций значительно уступает селективности фотовозбуждения излучением СО-лазера, которая может достигать значительных величин. Как показано в данной работе, при определенных условиях отношение констант скоростей фотовозбуждения может доходить до 100. Предполагается, что возбужденные молекулы сильнее отражаются от поверхности, чем невозбужденные. Селективное возбуждение может происходить как в объеме, так и в поверхностных слоях, насыщенных молекулами СО. По нашему мнению, более предпочтительным механизмом представляется селективное возбуждение $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ на поверхности.

ПОЗВЕННЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ В МП-ГЕНЕРАТОРАХ ДЛЯ НАКАЧКИ ЛПМ

И.В. Волков, М.М. Александров, В.И. Зозулев,
С.В. Подольный, Д.А. Шолох

Институт электродинамики НАН Украины,
Тел.: +8(044) 454-24-46; e-mail: dep8ied@ied.org.ua

Рассмотрены основные результаты комплексных исследований магнитно-полупроводниковых генераторов (МП-генераторов, МПГ) для ЛПМ в части анализа формирования импульсов в следующих их звеньях, которые наиболее влияют на эффективность МНГ:

1) в оконечном корректирующем узле компрессии импульсов (УКИ). С помощью этого УКИ достигается уменьшение длительности импульса тока τ_d^H в ГРТ и его фронта τ_d^ϕ при увлечении амплитуды этого импульса I_d^m ;

2) в согласующих УКИ, которые формируют уменьшенную длительность импульсов тока τ_{RL}^H с увеличенной их амплитудой I_{RL}^m для следующих звеньев, входное сопротивление которых имеет индуктивную составляющую, в частности – трансформатор и нагрузка (ГРТ);

3) однополяризующих УКИ, которые «выпрямляют» разнополярные импульсы.

По результатам компьютерного моделирования корректирующего, согласующего и однополяризующего УКИ, подтвержденного экспериментальными данными, представлены:

– зависимости $I_d^m = f(C_0)$, $\tau_d^\phi = f(C_0)$ – рис. 1, где C_0 – обостряющая емкость, $p_d^H = f(C_0)$, где p_d^H – импульсная мощность в нагрузке [1], нормиро-

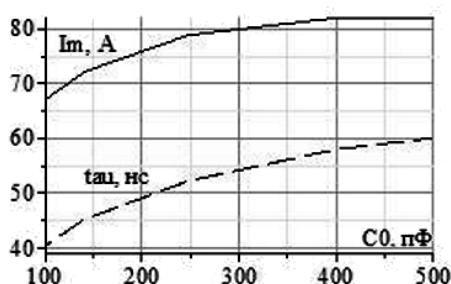


Рис. 1.

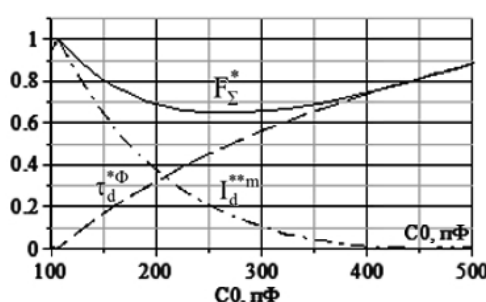


Рис. 2.

ванных (к единице) функций I_d^m , τ_d^ϕ и их суммы – рис. 2. Приводятся в зависимости от конкретных условий четыре возможных принципа

оптимизации: по максимуму I_d^m ; по максимуму p_d^H ; по минимуму τ_d^ϕ и по минимуму двухфакторной (I_d^m, τ_d^ϕ) целевой функции. Приведен импульс тока в ГРТ с улучшенными характеристиками ($I_d^{\max}$, $\tau_d^{\min}$) [1], в том числе импульс тока I_d^m (рис. 3), полученный при экспериментальном подборе C_0 и других параметров корректирующего УКИ с целью дальнейших исследований по увеличению КПД ЛПМ согласно информации из [2];

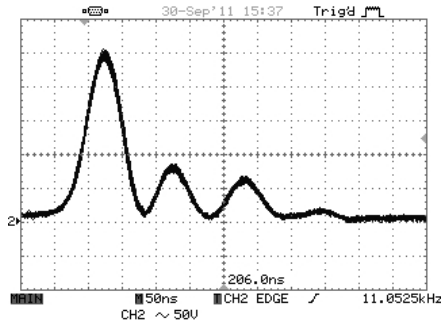


Рис. 3.

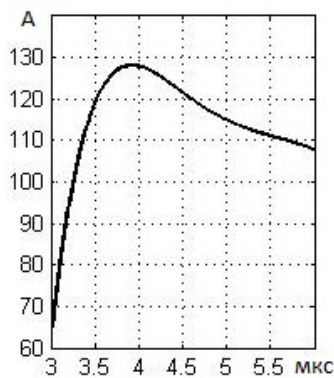


Рис. 4.

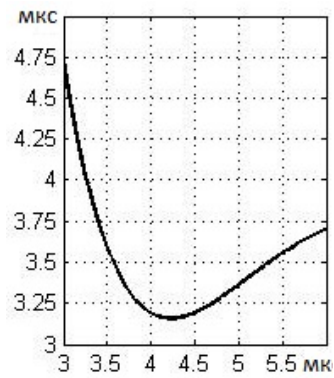


Рис. 5.

– зависимости $I_{RL}^m = f(t_{II})$ – рис. 4, $\tau_d^H = f(t_{II})$ – рис. 5, где t_{II} – время, характеризующее перекрытие зарядных и разрядных импульсов в согласующем УКИ. Рассматривается оптимизация I_{RL}^m, τ_d^H по трем возможным вариантам;

– аналитический материал и экспериментальные данные, согласно которым показывается, что «выпрямление» высоковольтных наносекундных импульсов со скажностью $Q > \approx 50$ возможно с помощью только коммутирующих дросселей или трансформаторов, принципиально не применяя менее надежных в данных цепях полупроводниковых ключей.

В итоге отмечается перспективность создания МПГ для ЛПМ, используя основные результаты представленных исследований. Основная часть материалов доклада изложена также в [1, 3, 4].

- [1] Волков И.В., Зозулев В.И., Подольний С.В., Шолох Д.А. Исследование процесса формирования выходных импульсов магнитно-полупроводникового генератора. // Техн. Електродинамика. – 2012. №1. – с. 17-22
- [2] Герасимов В.А., Герасимов В.В. Исследование лазера на парах меди при накачке цугами затухающих синусоидальных импульсов возбуждения. // ЖТФ. – 2011. – Том 81, вып. 4. – с. 153-156.
- [3] Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А., Спирин В.М. Особенности формирования импульсов в согласующих узлах магнитно-полупроводниковых генераторов. // Технічна електродинаміка. – 2012. – Ч.2. – с. 73-75.
- [4] Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А. Двухтактные магнитно-полупроводниковые генераторы импульсов: принципы построения и основные процессы. // Пр. Інституту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. К.: ІЕД НАН У. – 2012. – вип. 32. – с. 76-82.

ЛАЗЕРНАЯ МИКРООБРАБОТКА НЕКОТОРЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Гавальян В.Б.¹, Григорян Г.В.¹, Казарян М.А.^{1,2}, Лябин Н.А.³,
Погосян Л.¹, Мелконян А.¹, Азизбекян Г.¹, Ананикян Н.¹,
Морозова Е.А.⁴, Реймерс Е.Э.¹, Сачков В.И.⁵

¹*Национальная физическая лаборатория им. А.И. Алиханяна, г. Ереван*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*ФГУП «НПП Исток», г. Фрязино, Московская область*

⁴*Учреждение Российской академии наук Институт общей физики
им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

⁵*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

В настоящее время физико-химические методы широко внедряются в биомедицинские сферы применений. Одним из таких наиболее актуальных направлений является использование металлических стентов для коррекции и регулирования кровотока в сосудистой системе человека и других живых систем. Широко распространенными материалами для изготовления различного назначения стентов являются – нержавеющая сталь, золото, цирконий и др. При этом, как правило, они имеют поверхностное покрытие в виде защитного слоя, которое выполняет, в том числе, медикаментозные функции. В данной работе речь пойдет об использовании в качестве рабочего материала – чистого железа. Чистое железо хорошо также тем, что в процессе биомедицинского функционирования происходит биodeградация и оно выводится в нужные сроки из организма, тем самым предупреждая начальные стадии возможного образования пристеночных тромбов. Для изготовления стентов использовались лазер на парах меди, работающий с частотой повторения импульсов 10 кГц, со средней мощностью 4,5 Вт, при длительности импульса 20 нс, а также Nd:YAG лазер (ТЕМоо, 100 Гц, 20 мДж) в режиме свободной генерации при длительности импульса 100 мкс и модулированной добротности (15 нс). Предварительные эксперименты проводились с рабочими материалами типа латуни и нержавеющей стали. Чистое железо обрабатывалось при продувке аргона (давление 1 атмосфера). Характеристики изготовленных стентов следующие: диаметр 3-4 мм, толщина стенок 50-200 мкм.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК $\text{ZnO}:\text{Al}$, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Геворгян В.А.¹, Реймерс А.Е.², Алексанян А.Ю.¹, Казарян М.А.²,
Морозова Е.А.³, Сачков В.И.⁴

¹Российско-Армянский (Славянский) Университет, г. Ереван.

²ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

³Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

⁴СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск

Интенсивные исследования пленок ZnO в настоящее время продиктованы большими потенциальными возможностями ее применения в качестве прозрачных токопроводящих контактов для солнечных элементов и целого ряда других полупроводниковых приборов. Целью данной работы являлось получение золь гель методом пленок ZnO , легированных алюминием и исследование влияния технологических условий на их фотолюминесцентные (ФЛ) и структурные характеристики.

Золь, который использовался для получения пленок ZnO , приготавливался по следующей методике. Дигидрат ацетата цинка $\text{Zn}(\text{OOCCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, при комнатной температуре растворялся в растворе 2-метоксиэтанола $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ в который был добавлен комплекс-образующий химреактив моноэтаноламин $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$. Молярное отношение моноэтаноламина к $\text{Zn}(\text{OOCCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ равнялось единице, а концентрация $\text{Zn}(\text{OOCCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ составляла 0.5-1.0 моль/л. Приготовленный раствор перемешивался при температуре 40°C до формирования прозрачного гомогенного раствора. Для получения пленок ZnO n-типа проводимости в качестве легирующего реактива использовался хлорид алюминия $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,5at.%Al).

Пленки ZnO получались нанесением дозированного количества приготовленного раствора на вращающуюся со скоростью 5000 об/мин сапфировую подложку. Образовавшийся на подложке тонкий слой раствора сушился при температуре 300°C в течение 5 мин. Для получения пленок заданной толщины этот цикл повторялся нужное число раз. В наших экспериментах количество нанесенных слоев равнялось 7. Дальнейшее формирование кристаллической структуры ZnO , пленки подвергались термообработке на воздухе при температурах 500°C, 600°C, 700°C, 800°C. Эти же пленки затем отжигались в вакууме ($p=10^{-3}$ мм.рт.ст) при этих же температурах для исследования влияния образующихся вакансий кислорода и цинка на их структурные и фотолюминесцентные характеристики.

Рентгеноструктурные исследования показали, что на всех пленках ZnO наблюдается только один интенсивный дифракционный пик, соответствующий (002) кристаллографической ориентации, свидетельствующий об одинаковой ориентации нано-кристалликов. Увеличение температуры термообработки приводит к увеличению интенсивности дифракционного пика.

Исследование влияния температуры отжига на ФЛ свойства пленок показали следующие результаты. При термической обработке на воздухе 500°C , наблюдается пик ФЛ на длине излучения 370–380 нм (3.35–3.32 эВ). Эта величина совпадает со значением пика ФЛ наблюдаемого для объемного ZnO и обусловлена прямыми межзонными переходами. Одновременно наблюдается широкий участок (550–700 нм) «зеленой» люминесценции глубоких примесных центров, вызванных наличием вакансий и междоузлий цинка и кислорода. Термообработка пленок на воздухе при более высокой температуре 800°C приводит к резкому увеличению интенсивности «зеленой» люминесценции.

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ ЛАЗЕРОМ НА ПАРАХ МЕДИ

А.Г. Григорьянц¹, М.А. Казарян², Н.А. Лябин³, В.И. Сачков⁴

¹*МГТУ им. Баумана, г. Москва*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*ФГУП «НПП Исток», г. Фрязино, Московская область*

⁴*Сибирский физико-технический институт ТГУ, г. Томск*

Современные промышленные образцы лазеров на парах меди – это устройства с возможностью высокоскоростной пакетной и поимпульсной модуляции. Автоматизированное регулирование мощностью излучения при высокой надежности установки и качества выходного пучка обеспечивает этому лазеру лидирующее положение в сфере лазерной микрообработки. В результате многолетнего сотрудничества НПП Исток, ФИАН, ЗАО Чистые технологии, ООО НПП ВЭЛИТ и бауманского университета были развиты различные методики для процессов лазерной микрообработки широкого класса объектов /металлических и неметаллических, хрупких материалов, материалов биомедицинского назначения/. Обсуждаются перспективы развития данного направления в общей проблеме лазерной микрообработки.

ВОЗМОЖНО ЛИ ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКИХ МОЩНОСТЕЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЛПМ С ЕМКОСТНОЙ НАКАЧКОЙ?

Ф.А. Губарев, Д.В. Шиянов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск
Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

Для накачки лазеров на парах металлов (ЛПМ), в частности, лазеров на парах бромида меди, традиционно применяется сильноточный тлеющий разряд продольного типа, при котором электроды располагаются внутри газоразрядной трубки (ГРТ). При поиске новых способов получения паров рабочего вещества или при введении химически агрессивных активных примесей с целью улучшения энергетических характеристик лазеров желательно, чтобы электроды не контактировали с газовой средой. В работе [1] рассматриваются CuBr-лазеры с накачкой продольным емкостным разрядом, при котором цилиндрические электроды располагаются на внешней стенке ГРТ, т.е. отделены от газовой среды. В ГРТ диаметром 1 см и длиной 38 см получена средняя мощность генерации 2 Вт при КПД 0,125%, а в ГРТ диаметром 2,7 см (при той же длине) – 3,5 Вт при КПД 0,27%. Соответственно, как и при традиционной накачке, при использовании емкостного разряда возникает вопрос о возможности дальнейшего масштабирования активных элементов.

Выгодным отличием активных элементов с емкостной накачкой является простота конструкции, но при этом рабочая емкость является характеристикой конкретной ГРТ, и каждая итерация по её подбору сопряжена с изготовлением новой трубки. В настоящей работе предлагается осуществлять поиск оптимальной емкости электродов путем последовательного подключения конденсаторов к электродам ГРТ с традиционной накачкой с внутренними электродами. Результаты модельных экспериментов легли в основу экспериментов непосредственно с ГРТ с внешними электродами. В докладе представлены результаты исследования CuBr-лазера среднего активного объема (внутренний диаметр 4 см, длина активной области 90 см) с емкостной накачкой при различной величине электродных емкостей. Достигнута максимальная на сегодня средняя мощность генерации CuBr-лазера с накачкой продольным емкостным разрядом 12 Вт при КПД ~0,5%.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки, Гос. задание №7.586.2011.

- [1] Губарев Ф.А., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В. Особенности работы CuBr-лазера с накачкой продольным емкостным разрядом. // Квант. электрон. 2010. Т. 40. № 1. С. 19–24.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ СРЕД НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

Г.С. Евтушенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Благодаря уникальному сочетанию выходных и эксплуатационных характеристик импульсно-периодические лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов – ЛПМ (в первую очередь меди) нашли применение в промышленности, медицине и научных исследованиях. При этом типичные частоты следования (ЧСИ) импульсов ЛПМ составляют единицы - десятки кГц. В последнее время появилась потребность в лазерах, работающих при существенно больших ЧСИ (100 кГц и выше). Этой потребности должны отвечать ЛПМ с модифицированной кинетикой, т.е. такие, в которых кинетика процессов накачки и релаксации модифицирована, с использованием, как правило, активных добавок. Именно с такими лазерами получены рекордные на сегодняшний день частотные и энергетические параметры.

Основной целью работы научной группы сотрудников ИОА СО РАН и ТПУ на ближайшее время является - разработка эффективных источников когерентного излучения видимого диапазона спектра на основе активных сред на парах металлов с модифицированной кинетикой и устройств на их основе для применения в задачах атмосферной оптики, неразрушающего контроля, диагностики быстропротекающих процессов. Для достижения заявленной цели решаются следующие задачи:

- поиск новых способов создания паров и получения генерации в парах галогенидов металлов с активными добавками H_2 и HBr ;
- разработка и исследование разряда с внешними электродами (емкостного, индукционно-емкостного), с тем, чтобы исключить взаимодействие химически агрессивных активных сред с электродами;
- моделирование (численное и физическое) режима высоких частот повторения импульсов накачки, достижение частот повторения импульсов генерации 1 МГц;
- создание скоростного лазерного монитора для визуализации быстропротекающих процессов, сопровождающихся мощной фоновой засветкой (СВС, лазерная обработка материалов, напыление пленок, получение наноматериалов, взаимодействие излучения с биообъектами);
- исследование применимости ЛПМ с высокой частотой следования импульсов в задачах атмосферной оптической лазерной связи; напрямую с задачей передачи информации связана проблема оперативного управления энергией генерации лазера в каждом импульсе излучения.

Подходы к решению поставленных задач обсуждаются в данном докладе, а также в докладах участников творческого коллектива.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ АСТЕНО-ДЕПРЕССИВНОГО СИНДРОМА

В.В. Жуков, А.А. Кожин, В.В. Мрыхин
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

В последние годы среди населения наблюдается рост психической заболеваемости, в структуре которой большой удельный вес занимают заболевания с депрессивной симптоматикой. Проблема лекарственной терапии этих состояний остается актуальной из-за высокой невротизации и аллергизации популяции. К числу технических приемов, лишенных побочных эффектов, используемых с целью биостимуляции и повышения резистентности организма, относится низкоинтенсивное лазерное излучение. В системе мероприятий по коррекции астено - депрессивных состояний его применение еще не получило должного развития.

Учитывая механизмы патогенеза астено - депрессивных состояний, была предпринята попытка разработать способ управления функциональным состоянием нейроэндокринной системы с помощью излучения гелий-неонового лазера (физиотерапевтическая установка АФЛ-01). Для обоснования способа в экспериментальной части работы было смоделировано астеническое состояние крыс и на этом фоне осуществлялось лазерное воздействие на слизистую носа животных. Как известно, эта зона является рефлексогенным центром, раздражение которого приводит к возбуждению регуляторных комплексов. После курсового воздействия была зарегистрирована акселерация гипоталамической нейросекреции и функции периферических эндокринных желез (надпочечники, яичники). Были определены оптимальные параметры лазерного воздействия, индуцирующие эффективные биологические эффекты. Полученные данные были использованы для разработки способа физиотерапии дисфункций ЦНС у пациентов с депрессивным синдромом.

Анализируя результаты электрофизиологических исследований, проведенных у больных с депрессиями, получивших курс эндоназальной лазерной терапии, можно было заключить об улучшении мозгового кровообращения у большинства обследуемых. Имело место также изменение состава крови: лейкоцитарная формула указывала на состояние «спокойной активации», то есть стрессовая реакция постепенно исчезала. Уменьшение психической симптоматики имело место почти у 70% больных, что подтверждалось оценкой по шкале Гамильтона. Лучшие результаты были получены у больных со свежими случаями заболевания (до 2 лет). Разработанный способ физиотерапии запатентован в РФ.

Можно сделать вывод, что клинико-лабораторные исследования подтвердили экспериментальные данные о перспективном использовании лазерного воздействия для коррекции психовегетативных нарушений в клинике и позволили установить его оптимальные параметры.

ОПТИЧЕСКИЙ IN-SITU КОНТРОЛЬ РАСТУЩЕЙ ПЛЕНКИ НА ПЛАНАРНОЙ СТРУКТУРЕ

С.П. Зинченко, А.П. Ковтун, Г.Н. Толмачев
Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

Известно [1,2], что для прозрачной многослойной системы в результате интерференции отраженных световых пучков результирующая интенсивность отраженного оптического излучения имеет осциллирующий вид в зависимости от толщины пленки. Показано, что существует угол зеркального отражения зондирующего монохроматического излучения Н-поляризации, при котором осциллирующие кривые «вырождаются» в прямую линию и тангенс этого угла совпадает с коэффициентом преломления поверхностного слоя пленки. Измерение этого угла и положено в основу предлагаемой схемы in-situ контроля оптических параметров растущей пленки на подложке.

Технически in-situ контроль роста верхнего слоя пленки осуществляется путем одновременного измерения осциллирующих кривых отражения при разных углах падения лазерного зондирующего излучения в окрестности угла Брюстера для границы раздела поверхность растущей пленки – воздух. По углу, при котором временная зависимость интенсивности отраженного лазерного излучения не содержит в себе осцилляции, определяется показатель преломления материала поверхностного слоя пленки, а по кривым с осцилляциями с учетом уже известного коэффициента преломления рассчитывается её толщина.

Предлагаемая методика текущего контроля роста пленок апробировалась в ходе газоразрядного напыления на кремниевые подложки сегнетоэлектрика цирконата титаната свинца (ЦТС) и оксидов железа и никеля. Для пленки ЦТС (рис.1) полное отсутствие осцилляций в кривых отражения наблюдалось при угле падения зондирующего лазерного излучения $\vartheta=69,7^\circ$, что соответствует показателю преломления пленки ЦТС $n_2=2,7$.

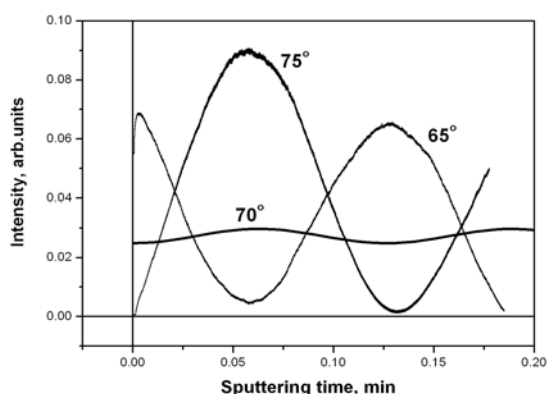


Рис. 1. Временные зависимости интенсивности отраженного лазерного излучения при углах зондирования 65° , 70° и 75° , измеренные одновременно в ходе газоразрядного напыления ЦТС на кристаллическую подложку Si(111).

Таким образом, апробирован и предлагается новый способ *in situ* контроля роста пленок на подложке, основанный на регистрации осцилляторной временной зависимости интенсивности отраженного зондирующего оптического излучения от структуры растущая пленка-подложка. Метод позволяет в ходе роста пленки напрямую (без решения обратной задачи) измерять показатель преломления материала поверхностного слоя пленки и его глубинный профиль.

- [1] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. // М.:Наука.1982.620 с.
- [2] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. // Москва: Наука. 1973. 719 с.

ИМПУЛЬСНЫЕ ИОННЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ С РПК И НЕКОТОРЫЕ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

С.П. Зинченко^{1,2}, И.Г. Иванов²

¹*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону*

²*Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону*

В результате исследований импульсных лазеров на парах металлов, к настоящему времени генерация в разряде с полым катодом (РПК) зарегистрирована более чем на 260 переходах 25 элементов, выяснены преимущества возбуждения в РПК по сравнению с положительным столбом для переходов, заселяемых ударами 2-го рода в газоразрядной плазме (перезарядкой, Пеннинг-процессом и передачей возбуждения в ионах); а также преимущества использования в РПК импульсов тока микросекундной длительности. В продолжение предыдущих исследований в настоящей работе нами измерены предельные энергетические характеристики таких лазеров.

Найдено, что в РПК с катодной полостью цилиндрической формы, при оптимальной концентрации паров металла зависимость скорости ионизации буферного газа от его давления определяется двумя факторами: снижением числа быстрых электронов, движущихся в радиальном направлении, а также – ростом их концентрации за счёт фокусировки в приосевой зоне. Найдены соотношения подобия для некоторых наиболее эффективных лазеров. Поскольку катодное падение растёт при укорочении импульса, и при длительности импульса тока ~ 1 мкс в несколько раз превышает его значение в стационарном и квазистационарном разрядах, соответственно возрастает и энергия монокинетических электронов, а также скорость накачки ударами 2-го рода. С ростом ускоряющего напряжения растёт и относительное число таких электронов, что, по сравнению со стационарным РПК, позволяет увеличить диаметр полости катода, т.е. объём активной среды без снижения эффективности накачки.

Измерения мощности излучения лазеров на парах Zn, Cd, Hg, Tl, Cu, Ga и на Kr в трубках с катодами различных диаметров показали, что импульсная мощность достигает десятков Ватт, а средняя мощность в катодах диаметром 2 см, длиной 40 см и более приближается к 1 Вт. При этом для большинства сред генерация наблюдается одновременно на нескольких линиях (“многоволновый” режим). Реализована генерация на трёхкомпонентной смеси He-Kr-Hg в многоволновом режиме на синей, красной и ИК лазерных линиях, возможно применение и других смесей.

Как один из примеров использования импульсного лазерного излучения рассматривается метод акустической эмиссии (АЭ), который находит все большее применение в задачах дистанционной диагностики прочности реальных конструкций. Ценным качеством лазерного возбуждения АЭ является то, что путём выбора параметров излучения можно возбудить в исследуемой конструкции помимо продольной, и другие типы волн. При этом плотность энергии излучения не должна вызывать фазовых превращений в твёрдом теле, обеспечивая при этом возбуждение АЭ. В связи с этим для возбуждения АЭ в наших

экспериментах наряду с импульсными твердотельными лазерами использовались импульсные лазеры: ионный на парах ртути и на атомных переходах в парах меди. Найдено, что эффективность преобразования оптической энергии в акустическую определяется плотностью мощности излучения, длительностью импульса и его фронтов.

ИНВЕРСИЯ НАСЕЛЕННОСТЕЙ В ИОННЫХ СПЕКТРАХ ЭЛЕМЕНТОВ III ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАКАЧКЕ ПЕРЕЗАРЯДКОЙ В ОС ИМПУЛЬСНОГО РПК

И.Г. Иванов

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Проведено сравнение результатов теоретических исследований поведения населенностей уровней и коэффициентов усиления на дублетных ионных переходах GaII, InII и TlII, заселяемых перезарядкой атомов металлов на ионах инертных газов в смесях Ga-Ne, In-Ne, Tl-Ne и Tl-Ne. Параметры плазмы были типичными для отрицательного свечения (ОС) разряда с полым катодом (РПК), возбуждаемого импульсами тока микросекундной длительности.

В ОС РПК при рабочих концентрациях паров металла вследствие преобладания частоты разрушения ионов буферного инертного газа перезарядкой над частотой их амбиполярной диффузии на стенку катода, полная скорость накачки всех уровней металла перезарядкой оказывается равной скорости ионизации газа, определяемой количеством быстрых электронов в ОС; кроме этого для всех уровней иона каждого металла, энергия которых меньше энергии иона-донора (He^+ , или Ne^+), учитывались возбуждающие и девозбуждающие столкновения с медленными электронами, а также с атомами газовой смеси. Принималось во внимание, что в ОС импульсного РПК при изменении тока имеет место пропорциональность между числом быстрых электронов, осуществляющих преимущественную ионизацию инертного газа и плотностью n_e медленных (тепловых) электронов, ответственных за девозбуждение в ионном спектре металла.

В частности, был подтверждён экспериментальный результат, что для более лёгкого иона, имеющего разреженный спектр энергетических уровней, роль электронного девозбуждения уровней оказывается менее значимой, и величина оптимальной плотности электронов и оптимального тока разряда – большей.

Так, для новых лазерных переходов: $7^3\text{P}_2 - 6^3\text{D}_3$ Ga II в смеси Ga-Ne и $6^3\text{P}_2 - 5^3\text{D}_3$ In II в смеси In-Ne (n_e)^{opt} составляет соответственно $5,0 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и $3,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

SOME MODERN LASER APPLICATIONS IN ONCOLOGY

А.В.Иванов¹, М.А. Казарян², Н.А. Лябин³, М.В. Уткина¹, К.К. Кошелев⁴,
G.R. Mkhitaryan⁵, N. Ananikyan⁶, В.И. Сачков⁷

¹*ВНОЦ РАМН, г. Москва*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*ФГУП «НПП Исток», г. Фрязино, Московская область*

⁴*«ООО НИХТИ», г. Переяславль-Залесский*

⁵*Ереванский Государственный медицинский университет, г. Ереван*

⁶*Национальная физическая лаборатория им. А.И. Алиханяна, г. Ереван*

⁷*Сибирский физико-технический институт ТГУ, г. Томск*

The work includes surveys selected issues of the developing directions of the lasers use in oncology during about last ten years. Except for traditional directions related to methods and instrumental base, diagnostics and therapy, photodynamic therapy and surgery of tumors, these review contain experimental studies related to the biological actions of laser radiation and studies on photodynamic agents. Research works carried out in different branches of the Academy of Sciences, Medical Sciences, scientific research institutes, various teaching centers, clinics, hospitals, pediatric centers, as well as corresponding foundations and private companies. One can find, that the information could be organized differently, an observation which we feel shows the great interrelation between the different studies that aim to uncover the secret behind and develop approaches to fight one of the most dangerous diseases inflicting humankind. Various methods of oncology treatment that use different installations: surgery, photodynamic therapy, laser hyperthermy, and low-intensity radiation in complex tumor therapy. Thus, an entire spectrum of laser use in treatment is presented. The paper concerning the diagnostics of malignant tumors. Particular attention is paid to new screening methods, based on the use of laser correlation spectroscopy for people living in areas of poor environmental quality. In our opinion, this efficient diagnostic method shows great promise. We dedicated to the experimental basis of laser treatment methods used in oncology and the study of biological actions of laser radiation, in particular, in search for primary photoacceptors, and presents experimental studies on photodynamic therapy and the development of new drugs for PDT. Here, we present complex biological trials on prospective new drug forms of chlorine e6. Also presented is a nontraditional direction in medicine, laser chemical histology surgery, which invited discussion. In conclusion is dedicated to the development of new methods and technological means for use in oncology. Various new medical technologies are proposed, specifically those with the combined use of lasers and ultrasound, as well as new laser systems and radiation sources. Beside of current laser technology and traditional areas of research this review includes a special chapter discussing medical fields that neighbor oncology, nanotechnology. The reason is that, in many cases, research in interdisciplinary fields can shine light on what would seem to be purely oncological problems.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЫ ВЧ РАЗРЯДА В ПРОЦЕССАХ НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

М.А. Казарян¹, Е.А. Морозова², П.С. Пляка³

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

²*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

³*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону*

Наиболее важным и по-прежнему нерешенным вопросом в одностадийной технологии напыления тонких пленок сложных оксидов является форма переноса вещества. Существуют лишь косвенные свидетельства в пользу того, что транспортировка материала мишени в емкостном ВЧ разряде осуществляется в форме кластеров. При отсутствии подложки кластеры в напылительной камере удается визуализировать, их скопления в виде тонкого диска рассеивают лазерное излучение.

В режиме напыления не удастся определить присутствие и пространственное распределение нано- и микрофрагментов материала мишени ни методом анализа спектров оптической эмиссии ни при помощи лазерного рассеяния. Расчеты показывают, что концентрация кластеров в разрядном промежутке слишком мала, и не позволяет обнаружить их по тепловому излучению или интенсивному испарению металлов в зоне действия пучковых электронов.

Наиболее перспективным средством исследования пространственного распределения кластеров низкой концентрации в газоразрядной плазме является лазер на парах меди. При освещении участка комплексной плазмы узким лучом происходит поглощение энергии взвешенными частицами вещества, приводящее к интенсивному тепловому излучению и даже взрывному испарению. Благодаря тому, что медный лазер излучает в импульсном режиме, за счет синхронного детектирования удастся существенно повысить чувствительность метода.

Создана экспериментальная установка, проведены предварительные исследования. Полученные экспериментальные результаты доказывают перспективность метода.

ДИАГНОСТИКА И ЭКСТРАКЦИЯ СОЛВАТИРОВАННЫХ ИОНОВ

М.А. Казарян^{1,4}, И.В. Шаманин², И.В. Ломов², А.Н. Лобанов¹,
С.Ю. Долгополов², А.С. Аверюшкин¹, В.И. Сачков³,
Н. Ананикян⁴, Г. Мартоян⁵

¹ *ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

² *Томский политехнический университет, г. Томск*

³ *Сибирский физико-технический институт ТГУ, г. Томск*

⁴ *Национальная физическая лаборатория им. А.И. Алиханяна, г. Ереван*

⁵ *ООО «АРЕВ», г. Ереван*

Проведен анализ возможностей применения схемы электроиндуцированного селективного дрейфа солватированных ионов в водных растворах солей в сочетании с светоиндуцированным дрейфом. Предлагаемая экспериментальная схема включает ячейку со специальными электроизолированными электродами для подачи апериодического электромагнитного поля и ввода лазерного излучения. Сообщается о результатах предварительных экспериментов с лазером на парах меди, работающих с частотой повторения импульсов 10 кГц, при этом суммарная средняя мощность на двух длинах волн могла достигать 10 Вт. Лазерный пучок с расходимостью близкой к дифракционной порядка 10^{-4} рад используется в данной схеме также для контроля характеристик исследуемых водных растворов солей металлов. Рассматривается гибридная схема разделения, включающая мембранные устройства.

Работа частично поддержана грантом РФФИ-11-02-00752-а.

ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА САМОСОГЛАСОВАННОЕ ПОЛЕ ВНУТРИ НАНОЧАСТИЦЫ

Казарян М.А.¹, Чернышев Л.Е.², Муравьев Э.Н.³, Собко А.А.⁴,
Хохлов Э.М.⁵, Андриюшин И.А.¹, Сачков В.И.⁶

¹*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

²*ТРИНИТИ, г. Троицк*

³*«ОАО» НИТС», г. Москва*

⁴*Академия инженерных наук им А.М.Прохорова, г. Москва*

⁵*Учреждение Российской академии наук Институт общей физики
им. А.М.Прохорова РАН, г. Москва,*

⁶*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

Анализируются пульсации наночастицы на основании теории полярных ферми-систем под действием поверхностного натяжения, обеспечивающего наличие внутренней объемной энергии наночастицы. Поверхностное натяжение границы области коагулирующих частиц зависит от структуры объекта и увеличивается по мере формирования согласованного поля. При этом гидродинамическое значение поверхностного натяжения выросшего зародыша позволяет оценивать характерный ее размер. Обсуждаются вопросы применительно к лазерно-индуцированному процессу образования наночастиц.

КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ЯДЕРНО-ОПТИЧЕСКОГО И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

А.В. Карелин¹, И.Н. Хиблин², Л.А. Амелин³

¹ФГУП ЦНИИМаш, г. Королёв

²ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва

³ОАО «НИИЭМ», г. Истра, Московская область

Радияция является жестким излучением, которое можно использовать как источник энергии в ядерно-оптических преобразователях (ЯОП) с дальнейшей конверсией оптического излучения в электроэнергию с помощью фотоэлектрических преобразователей. Электричество может вырабатываться в постоянном режиме в течение многих лет практически без смены источника излучения, если уровень остаточной радиоактивности и период полураспада достаточно высоки.

Целью данной работы является примерная оценка энергетических и конструктивных характеристик установки по утилизации радиоактивных отходов на основе ЯОП (ЯОП-установки). В результате проведенных исследований установлено, что хранилище объемом $V=15000 \text{ м}^3$ для ЯОП-установки, использующей 216 бочек с высокоактивными ядерными отходами, содержащими по $4.6 \cdot 10^5 \text{ Ки Cs}^{137}$ и активную среду (смесь Ar-N_2 , давление 10 атм.), целесообразно выполнить в виде сферического газгольдера с радиусом оболочки $R=15 \text{ м}$. При существенно меньшей металлоемкости по сравнению с хранилищем дискообразной формы, тех же теплофизических характеристиках (объемное тепловыделение в газе 87 МВт) и электрической мощности (1 МВт), сферическое хранилище способно выдерживать эксплуатационные нагрузки (в том числе ветровые). Дальнейшее уточнение конструкции и режимов эксплуатации ЯОП-установки с целью улучшения ее характеристик целесообразно выполнить с привлечением экономических соображений.

Список используемой литературы:

- [1] Карелин А.В., Широков Р.В. Радиоактивные отходы как источник дешевой электроэнергии. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», № 9 (41), с. 90-92 (2006).
- [2] А.В. Карелин, И.Н. Хиблин, Л.А. Амелин, Р.В. Широков. Теплофизические ограничения ЯОП-установки для утилизации радиоактивных отходов.
- [3] Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Каштанов А.И., Меньшикова Т.С. Высокотемпературное ядерное топливо. М.: Атомиздат, 1978, - 432 с.
- [4] Концепция по обращению с отработавшим ядерным топливом Министерства Российской Федерации по атомной энергии. Минатом России – 2003 год.
- [5] Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85. Министерство строительства российской федерации. Москва, 1996.
- [6] Г.А. Савицкий. Ветровая нагрузка на сооружения. Издательство литературы по строительству. Москва, 1972.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ САМОРАЗОГРЕВНЫХ ЛПМ С РАЗРЯДНЫМИ КАМЕРАМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И КОАКСИАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

В.Т. Карпухин, М.М. Маликов

Объединённый институт высоких температур РАН, г. Москва

Большой практический интерес для ряда применений представляют лазеры на парах меди с уровнем мощности в $\sim(0,2-1,0)$ кВт. Однако, на пути создания таких лазеров существуют проблемы. Известно, что не удаётся эффективно наращивать мощность излучения лазера за счёт увеличения диаметра разрядной трубки. Так, при увеличении диаметра до $\sim 6-12$ см, хотя и достигались высокие значения мощности лазерного излучения 100–500 Вт [1], удельные выходные мощности уменьшались на порядок и более, снижались оптимальные частоты следования импульсов накачки (по сравнению с трубками диаметром 1-2 см). Ещё в ранних работах было показано, что одной из причин, препятствующих созданию мощных ЛПМ большого объёма, является перегрев активной среды [2], который приводит к срыву генерации вследствие теплового заселения нижнего рабочего метастабильного уровня. Перегрев газа на оси трубки также способствует возникновению неоднородного распределения концентрации атомов меди по радиусу трубки, уменьшается скорость остывания электронов на поздней стадии рекомбинации плазмы, что существенно снижает эффективность ЛПМ.

Для решения проблемы, ещё в ранний период развития работ по ЛПМ (1976-1986 гг.) предлагалось использовать разрядные камеры с развитой поверхностью стенок и малым характерным геометрическим размером. Среди множества разнообразных конструкций камер (щелевые, цилиндрические с продольными перегородками, с коаксиальными вставками [3] и др.) наиболее перспективными, на наш взгляд [4], являются коаксиальные камеры с изолированной центральной вставкой и продольным разрядом. Они просты в конструктивном отношении. В камерах с такой геометрией не только интенсифицируются теплопередача по газу, но и осуществляется сброс тепла за счёт лучистого теплообмена между цилиндрами.

В докладе представлены тепловая модель и методика расчёта температуры газа в рабочем объёме лазера совместно с тепловым расчётом конструкции коаксиальной и для сравнения классической камеры ЛПМ в виде трубки. При этом учитывается зависимость теплопроводности газа от температуры, радиальная зависимость тепловыделения, доля энергии (идущая на нагрев газа) и лучистый теплообмен между цилиндрами. Получены формулы для расчёта температуры центральной вставки. Методика проста с точки зрения программирования и очень удобна для использования в численных экспериментах.

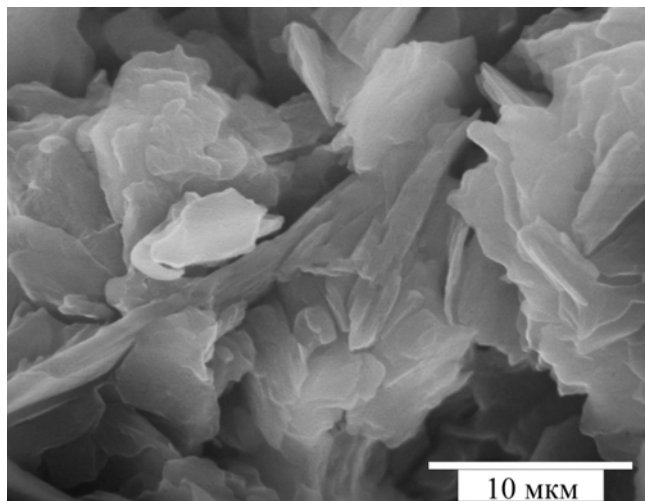
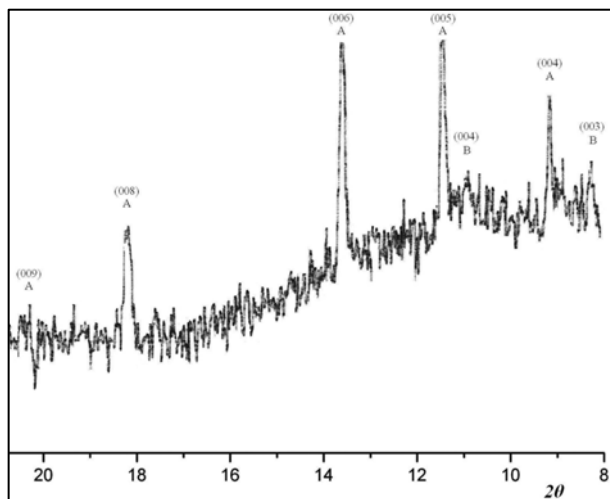
- [1] Little C.E. Metall Vapor Lasers: Physics, Engineering and Applications. - Chichester (UK): J. Wiley and Sons Ltd, 1999. - 620 p.
- [2] Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г. // Квантовая электроника. 1973. Т.18. №6. С.112-115.
- [3] Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. – Новосибирск: Наука, 1985. -152 с.
- [4] Директор Л.Б., Маликов М.М., Фомин В.А. // ТВТ. 1990. Т.8. №3. С.427-432.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ ДЛЯ СИНТЕЗА ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКОГО НАНОКОМПОЗИТА МЕДИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ В ЖИДКОСТИ

В.Т. Карпухин, М.М. Маликов, Т.И. Бородина, Г.Е. Вальяно,
О.А. Гололобова, Д.А. Стриканов

Объединённый институт высоких температур РАН, г. Москва

В докладе приведены данные экспериментального исследования слоистого органо-неорганического нанокompозита $[\text{Cu}_2(\text{OH})_3 + \text{DS}]$, полученного в результате абляции меди в водных растворах поверхностно-активного вещества (ПАВ) – додецил сульфата натрия (SDS). Методами абсорбционной спектроскопии коллоидных растворов, рентгеновской дифрактометрии, сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой (АСМ) микроскопии твердой фазы коллоида была прослежена динамика образования указанного композита в зависимости от продолжительности воздействия лазера на парах меди на мишень из меди, а также от времени старения коллоида. Впервые методом лазерной абляции в жидкой среде получен двухслойный органо-неорганический нанокompозит меди в виде двух структурных модификаций. Подобные нанокompозиты могут найти применения при создании новых оптоэлектронных устройств (стохастических лазеров, сенсоров, светодиодов [1-3] и т.д.), в диагностике многофазных потоков [4]. Внедрение этих композитов в различные полимерные материалы обещает улучшение их механической и термической стабильности.



Рентгеновская дифрактограмма композита.

СЭМ картина слоистых структур композита.

- [1] Van der Molen Karen L., Mosk A.P., Lagendijk A. // Optics Communications. 2007. V.278. P.110.
- [2] Kumar N., Dorfman A., Hahm J. // Nanotechnology. 2006. V.17. P.2875.
- [3] Usui H., Sasaki T. and Koshizaki N. // Appl. Phys. Lett. 2005. V.87. 063105
- [4] А.Ю. Вараксин. Столкновения в потоках газа с твёрдыми частицами. М.: ФИЗМАИЛИТ, 2008. –312 с.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ ДИСТАНЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛИСТЬЕВ ЗЕЛЁНЫХ РАСТЕНИЙ

А.В. Климкин¹, К.В. Фёдоров¹, А.Н. Иглакова¹, В.Е. Прокопьев²

¹*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

Состояние растительного покрова – одни из маркеров состояния окружающей среды в целом. Глобальность масштабов объекта исследований предполагает дистанционные, в первую очередь оптические, методы исследований.

В частности, путем измерения спектров флуоресценции живых листьев и эмиссии лазерной плазмы при абляции их поверхности можно судить о состоянии фотосинтетического аппарата и условиях вегетации растений [1].

В настоящем сообщении проведены дистанционные и лабораторные исследования спектров флуоресценции фотосинтетического аппарата и плазмы оптического пробоя листьев зелёных растений под действием фемтосекундного лазерного излучения. Длины волны излучения $650 \div 950$ нм, энергия в импульсе до 10 мДж, длительность $50 \div 100$ фс [2].

В спектрах излучения измерялись параметры полосы флуоресценции и поглощения хлорофиллов светособирающей антенны и реакционного центра в области $660 \div 800$ нм, которые позволяли оценить текущее состояние фотосинтезирующего аппарата растений.

Измерения микроэлементного состава листьев растений позволяют выявить возможные причины этих состояний.

В спектрах эмиссии плазмы листьев растений, находящихся на расстоянии 10 метров, обнаружены чувствительные спектральные линии атомов и ионов углерода, магния, железа, кальция, кремния, меди. Кроме того, в спектрах наблюдались линии ОН, свана (C_2), циана (CN).

- [1] Кривоносенко А.В., Кривоносенко Д.А., Прокопьев В.Е. Излучательные характеристики импульсного разряда по струе воды в воздухе. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т.25, №03. С.268-272.
- [2] Афонасенко А.В. и др. Лабораторные и лидарные измерения спектральных характеристик листьев березы в различные периоды вегетации. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т.25, №03. С.237-243.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ХИМСВЯЗЬ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ СТАЛЕЙ 45 И 9ХС

А.Т. Козаков, Л.В. Битюцкая, С.И. Ярьсько
ФГУП «РНИИРС», г. Ростов-на-Дону,
e-mail: lvbi@mail.ru

Как известно, электронная оже-спектроскопия (ЭОС) с ионным травлением по глубине позволяет проследить за процессом изменения состава приповерхностных слоёв при лазерном воздействии [1]. Распределения элементов по глубине, интенсивность, энергетическое положение и анализ формы оже-линий этих элементов позволяют сделать вывод о модификации поверхности исследуемого сплава под воздействием импульсного лазерного излучения на воздухе.

В настоящей работе с помощью ЭОС с ионным травлением по глубине исследовался состав поверхности сталей 45 и 9ХС, обработанных в целях упрочнения импульсным лазерным излучением разной мощности. Облучение проводилось на специализированной лазерной установке [2]. Изменение состава поверхности фиксировалось по изменению оже-спектров при послойном травливании материала ионами аргона.

Показано, что лазерное облучение приводит к образованию в зоне лазерного воздействия оксидных плёнок, и, как следствие, к изменению поверхностного элементного состава и химической связи элементов на поверхности. Изменение химической связи наглядно проявляется в изменении формы и энергии $\text{Fe } M_3VV$ – линии спектра, расположенной в области малых кинетических энергий (~ 50 эВ).

Представлены оже-спектры с исходной поверхности стали 45 и стали 9ХС до и после облучения, демонстрирующие перераспределение основных и легирующих элементов в приповерхностных слоях. Представлена эволюция формы линии железа в зависимости от степени лазерного воздействия от одиночной линии с энергией ~ 47 эВ, характерной для неокисленного железа, до расщепленной на две компоненты (~ 41 и ~ 53 эВ), что соответствует окисленному железу в разной степени окисления [3]. Об этом же свидетельствует симбатное изменение амплитуды оже-сигналов железа и кислорода с увеличением глубины анализа и соотношение интенсивностей дуплета линий железа. Появление таких линий в спектрах после лазерного воздействия связано с перестройкой приповерхностных слоёв стали, основу которой составляет железо. Модификация железа на разной глубине свидетельствует об образовании переходной области, прилегающей к массивному металлическому слою и состоящей из окислов Fe_2O_3 или FeO . Известно [4], что для достижения наибольшего упрочнения необходимо получение наибольшей толщины образующейся на рабочей поверхности окисной плёнки. Проведена оценка толщины этой плёнки для разных режимов лазерного воздействия.

[1] Козаков А.Т., Битюцкая Л.В., Ярьсько С.И. // Тез. докл. Симпозиума «Лазеры на парах металлов» (ЛПМ-2010), с.55, Лео, 20-24 сент. 2010 г.

- [2] Ярьсько С.И., Михеев П.А., Каковкина Н.Г. Обеспечение равномерного распределения интенсивности лазерного излучения при импульсной термообработке с помощью неустойчивого резонатора. // ФХОМ, №6, с.19-25, 2000г.
- [3] Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Под ред. Д.Бриггса, М.П. Сиха. М.: Мир, 1087, 600с.
- [4] Ярьсько С.И. Апробация в производственных условиях результатов моделирования процесса резания инструментом, упрочненным лазерным излучением. // Упрочняющие технологии и покрытия, №8, с.8-13, 2007г.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В СПЕКТРАХ ИЗЛУЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ И ИХ ИОНОВ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Е.В. Корюкина

Томский государственный университет, г. Томск

В данной работе проводится теоретическое исследование закономерностей в поведении спектров излучения атомов и ионов благородных газов в переменном электрическом поле циркулярной поляризации. Электрические поля такой поляризации генерируются в индукционном высокочастотном разряде, в спиновых светодиодах и при лазерном возбуждении. Для решения нестационарного уравнения Шредингера, описывающего поведение атомов и ионов в переменном электрическом поле, используется метод диагонализации матрицы энергии рассматриваемых систем в поле [1]. Этот метод, свободный от ограничений, присущих теории возмущений и позволяющий проводить расчеты в многоуровневом приближении, дает возможность исследовать динамический эффект Штарка и вероятности переходов между штарковскими уровнями для любых атомов и ионов [2, 3] в циркулярном электрическом поле произвольной напряженности и частоты. Алгоритм предложенного теоретического подхода был реализован в специальном пакете программ, написанном на ФОРТРАНЕ, и в рамках этого пакета были получены все результаты моделирования спектров излучения.

На основании расчетов был выявлен ряд закономерностей в поведении спектров излучения для атомов и ионов благородных газов:

- 1) закономерности в поведении энергетических спектров и вероятностей переходов при изменении напряженности электрического поля;
- 2) закономерности в поведении энергетических спектров и вероятностей переходов при изменении частоты электрического поля;
- 3) частотная зависимость направления сдвига энергетических уровней в электрическом поле.

Полученные результаты представляют интерес как с чисто теоретической точки зрения, так и в практических приложениях при решении задач штарковской спектроскопии, спектроскопии плазмы и астрофизики.

[1] E.V. Koryukina. // J. Phys. D: Appl. Phys., 2005, 38, 3296-33.

[2] E.V. Koryukina. // PIRS on Line, 2010, 6, 149-152.

[3] E.V. Koryukina, V.I. Koryukin. // Russ. Phys. J., 2012, 55, No.2, 94-99.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРОВ С САМОСТОЯТЕЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СВЧ РАЗРЯДОМ

В.Ф. Кравченко, А.В. Кравченко

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Рассмотрены уравнения, описывающие ИГЛ с СВЧ поперечным разрядом в трубке радиусом r_0 , когда $\omega_0 \gg \nu_m$. С помощью метода инвариантов [1] определены инвариантное преобразование и инварианты нестационарного уравнения Больцмана для функции распределения энергии электронов (ФРЭЭ) в импульсной СВЧ плазме ИГЛ на парах металлов, в приближении, что упругие потери зависят от энергии электронов как $\nu_m(\varepsilon) = \nu_m^0 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^\alpha$.

Показано, что уравнение Больцмана для электронов СВЧ плазмы допускает группу масштабных преобразований типа: однородное растяжение-сжатие. Определены инварианты этого преобразования:

$$I_0 = \frac{e \cdot E_0^2(0) \cdot \Psi^2(t)}{\omega_0^2}, I_1 = n \cdot (\nu_m^0 \cdot t)^{-1}, I_2 = \varepsilon^\alpha \cdot \nu(\varepsilon_0) \cdot t. \quad (1)$$

Использовались обозначения переменных аналогично [2]. $\Psi(t)$ - форма огибающей импульса СВЧ поля. Используя инварианты преобразования уравнения Больцмана для ФРЭЭ ($n(I_0, I_2)$) в качестве новых обобщенных переменных, произведена редукция уравнения Больцмана в частных производных к обыкновенному линейному дифференциальному уравнению, родственному уравнению Уиттекера [3].

Известно, что плазма поперечного СВЧ разряда неоднородна и при высоких значениях вводимой СВЧ мощности электрическое поле проникает в плазму на глубину скин-слоя (δ). Следовательно, для реализации подобного изменения радиального распределения плазмы поперечного СВЧ разряда при масштабных преобразованиях необходимо к инвариантам (1) добавить инвариант $I_3 = \delta / r_0$. Показано, что при значениях параметров активной среды и источника СВЧ накачки моделируемого ИГЛ, удовлетворяющих условию постоянства значений инвариантов ИГЛ образца и модели, в плазме моделируемого ИГЛ реализуются оптимальные для генерации условия, аналогичные образцу.

- [1] Полянин А.Д. Элементарная теория использования инвариантов для решения математических уравнений. // Вестник СамГУ: Естественно-научная серия. 2008. №6 (65). С.152-176.
- [2] Райзер Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. М.: Наука, 1980, 414 с.
- [3] Э. Камке. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1971. 576 с.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРА

И.В. Красников², М.В. Тригуб^{1,2}

¹*Томский политехнический университет, г. Томск*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

При создании источников накачки для лазеров на парах меди и бромида меди особое внимание принято уделять крутизне фронта импульса накачки. Так как только благодаря быстрым, обладающим большой энергией, электронам возможно заселение резонансного уровня и получение инверсии. Если же фронт будет затянут, то заселение, главным образом, будет осуществляться на метастабильный уровень. На сегодняшний день даже самые передовые полупроводниковые технологии не способны предоставить ключевые элементы, способные коммутировать напряжение порядка 10 кВ с высокой скоростью нарастания тока. Поэтому целесообразно для источников накачки большой мощности использовать газоразрядные коммутаторы. В лаборатории квантовой электроники ИОА СО РАН разрабатываются источники с импульсным зарядом накопительной емкости. Подобный подход обеспечивает восстановление разрядного промежутка тиратрона при нулевом потенциале анода. Это увеличивает срок службы коммутатора и делает схему более стабильной. Высоковольтное напряжение формируется полумостовым инвертором, регулировка напряжения на газоразрядной трубке (ГРТ) осуществляется с помощью управляемого выпрямителя. В качестве тиратрона используется водородный тиратрон ТГИ1-500/16, который нестабильно работал в схемах с прямым разрядом накопительного конденсатора. Максимальная мощность источника 1 кВт, максимальное выходное напряжение 10 кВ.

В работе представлены результаты исследования разработанного источника при работе с активными элементами с традиционной и емкостной накачкой. При работе источника на ГРТ с традиционной накачкой (длина активной зоны 50 см, диаметр 2 см), использовался накопительный конденсатор емкостью 750 пФ, мощность генерации составила 2 Вт, при частоте работы 25 кГц. При работе на емкостную ГРТ (длина активной зоны 50 см, диаметр 2.5 см) накопительный конденсатор не использовался, емкость электродов составляла 350 пФ каждый, частота работы 32 кГц.

Таким образом, показана возможность создания источников накачки с импульсным зарядом накопительного конденсатора, при котором возможно использование тиратронов с ресурсом более 1000 часов. При этом такую схему можно использовать как для накачки традиционных ГРТ, так и емкостных.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

ИОННЫЕ РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ И КАЛЬЦИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.Л. Латуш, Г.Д. Чеботарев

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Наилучшими среди ионных рекомбинационных лазеров выходными характеристиками обладают лазеры на парах стронция ($\lambda=430,5; 416,5$ нм SrII) и кальция ($\lambda=373,7; 370,6$ нм CaII) [1]. Они обладают хорошими для ионных лазеров выходными и эксплуатационными характеристиками. Именно поэтому они активно исследовались в течение ряда лет как у нас в стране, так и за рубежом. В последнее время особенно активные работы с этими лазерами проводились в Китае. К настоящему времени максимальными экспериментально достигнутыми являются, соответственно, следующие параметры генерации рекомбинационных He-Sr⁺ и He-Ca⁺ лазеров, возбуждаемых продольным разрядом: средняя мощность 3,9 и 1,32 Вт; погонная средняя мощность 11,8 и 1,5 Вт/м; удельная средняя мощность 277 и 50 мВт/см³, энергия импульсов 6 и 3,2 мДж, пиковая мощность 20 и 12 кВт, коэффициент усиления 0,15 и 0,1 см⁻¹.

В докладе дается обзор работ по ионным рекомбинационным лазерам на парах стронция и кальция в различных лабораториях. Рассматриваются лазеры с продольным и поперечным разрядом, саморазогревные лазеры и лазеры с внешним подогревом, импульсно-периодические катафорезные лазеры, лазеры с принудительным охлаждением, результаты математического моделирования данных лазеров. Будет проведен анализ результатов и намечены перспективы дальнейших исследований.

- [1] Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. М.: Энергоатомиздат, 1990.

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА ЭФФЕКТЕ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА

Леонтович А.М.¹, Лидский В.В.¹, Сачков В.И.²

¹*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

²*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

Предложена теория возбуждения поверхностных волн в тонкой однородной пленке металла, окруженной диэлектрической средой, при движении внутри пленки или вблизи ее поверхности заряженной частицы. Показано, что излучение поверхностных волн механизмом Вавилова-Черенкова возникает при скоростях частицы в десятки и сотни раз меньше, чем соответствующие скорости в однородной среде.

Работа частично поддержана грантом РФФИ-12-02-01094.

ЛЮМИНОФОРНЫЕ МЕТКИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ

В.Н. Личманова¹, В.А. Большухин¹, М.А. Казарян²,
В.И. Сачков³, Е.А. Морозова⁴

¹ФГУП Научно исследовательский институт «Платан», г. Фрязино

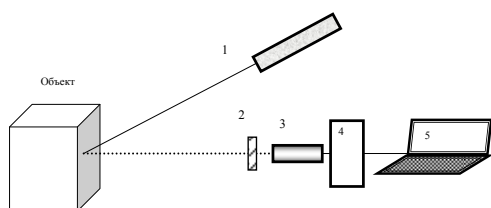
²ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

³Сибирский Физико-технический институт ТГУ, г. Томск

⁴Учреждение Российской академии наук Институт общей физики
им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

Для идентификации и дистанционного контроля объектов предлагается использование люминофорных меток. Люминофоры, обладая высоким квантовым выходом излучения и селективностью поглощения возбуждающего излучения, способны создавать отклик в определенном диапазоне электромагнитного излучения. Высокая спектральная плотность излучения люминофора способствует помехозащищенности этого метода, позволяет использовать контрольную аппаратуру в условиях дневного освещения, что удобно для использования на складах, контрольно-пропускных пунктах, в мероприятиях по выявлению контрафактной продукции.

В качестве материала меток использовался оксисульфидный люминофор ЛИН-1 (ООО НПК «Люминофор»), имеющий интенсивные линии люминесценции в инфракрасной области спектра 0.8-1.1 мкм. Это удобно для отстройки от солнечной засветки, для увеличения секретности метода. Исследовались возможности дистанционной идентификации объекта по принципу «свой-чужой» при подсветке направленным лазерным лучом, работающим в полосе поглощения люминофора. Схема метода показана на рис., где 1. лазерный излучатель, 2. ИК-фильтр, 3. ФЭУ, 4. синхронный детектор, 5. регистрирующее устройство.



Люминофорные метки изготавливались с использованием прозрачных лаков на основе хлорвинила, силиконов и поликарбоната. При возбуждении люминесценции импульсным лазером ЛГИ-21, работающим в полосе фундаментального поглощения люминофора, устойчиво регистрировался отклик с излучением в полосах 8782А и 10590А. При возбуждении полупроводниковым диодом в области поглощения 5960А можно увеличивать частоту импульсов до 10 кГц, что повышает чувствительность метода.

НОВЫЕ МОНОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИК-ЛЮМИНОФОРЫ ДЛЯ ДИАПАЗОНА 0,96-1,1 МКМ

О.Я. Манаширов¹, В. Воробьев¹, Е.М. Зверева¹, А.Н. Георгобиани²,
В.Б. Гутан², М.А. Казарян², А.Н. Лобанов², В.И. Сачков²

¹ООО Научно-Производственная Фирма «ЛЮМ», г. Ставрополь

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

e-mail: oshir@yandex.ru

Проведено комплексное исследование структурных и люминесцентных свойств твердых растворов, образующихся в двойных системах $Y_2O_2S-Yb_2O_2S$, YPO_4-YbPO_4 и $Y_2O_3 - Yb_2O_3$, при возбуждении лазерным излучением 0,940 мкм. В результате проведенных исследований определены области существования непрерывных твердых растворов в двойных системах $Y_2O_2S-Yb_2O_2S$, YPO_4-YbPO_4 и $Y_2O_3 - Yb_2O_3$ и установлены основные закономерности изменения интенсивности и длительности затухания их стоксовой ИК-люминесценции в области 0,94-1,1 мкм в зависимости от состава. На основе установленных закономерностей разработана серия новых моноспектральных ИК-люминофоров, активированных ионами Yb^{3+} , обладающих при возбуждении лазерным излучением 0,940 мкм повышенной примерно в два раза по сравнению с известными промышленными люминофорами Л-54 и ФСД 546-2М интенсивностью стоксовой ИК-люминесценции в области 0,94-1,1 мкм и различной длительностью послесвечения. Указанные моноспектральные ИК-люминофоры нашли практическое применение в основном для изготовления защитных меток ценных бумаг как в отдельности, так и в составе люминесцентных композиций с антистоксовыми, ИК- и фотостимулированными люминофорами.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ 3Д ФОРМЫ ИЗ НЕМЕТАЛИЧЕСКИХ ХРУПКИХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Э.Н. Муравьев¹, В.И. Ревенко¹, В.Ф. Солинов¹, Е.Ф. Солинов¹,
М.А. Казарян², Е.Ф. Кустов¹

¹*«ОАО НИТС», г. Москва*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

Проведено комплексное изучение особенностей лазерной резки хрупких высокопрочных стеклообразных материалов. В экспериментах использовался лазерный робот 3Д сканированием лазерного сфокусированного луча. Средняя мощность лазерного робота на длине волны 10,6 мкм могла достигать 700 Вт. Толщина различных стеклообразных материалов варьировалось в пределах от 0,5 до 3 мм. Для особо прочных стеклообразных материалов толщиной 1 мм при заданных условиях фокусировки оптимальная мощность лазера составляла около 300 Вт при скорости резки 1 см/с. Обсуждаются вопросы, касающиеся качества реза и быстродействия.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВОГО ДИОДА С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ МИШЕНЬЮ

А.С. Насибов¹, К.В. Бережной¹, П.В. Шапкин¹, М.Б. Бочкарев²,
А.Г. Реутова², С.А. Шунайлов²

¹ФИАН, г. Москва

²ИЭФ УрО РАН, г. Екатеринбург

Исследовано изменение тока электронного пучка (ЭП) и излучательных характеристик полупроводниковой лазерной мишени (ЛМ) газового диода (ГД) при разных давлениях воздуха. Эксперименты проводились на установке [1,2], формирующей импульсы высокого напряжения амплитудой до 200кВ и длительностью 10^2 - 10^3 пс. Применялась коаксиальная конструкция ГД с острым и графитовым катодами (К). ЭП выпускался через AlBe фольгу, или через металлическую сетку с 50% прозрачностью. ЛМ- монокристаллическая пленка (15-30мкм) из CdS или ZnSe с отражающими покрытиями, образующими оптический резонатор, устанавливалась непосредственно за анодом (фольгой). Для ограничения диаметра ЭП применялась диафрагма с диаметром отверстия 1мм. Динамика излучения исследовалась с помощью стрик-камеры с разрешением 10пс [2]. Основные результаты сводятся к следующему: 1. При расстоянии между катодом и фольгой 6мм на импульсах тока ЭП и лазерного излучения ЛМ наблюдались два характерных пика длительностью на полувысоте 30 и 60пс. 2. С увеличением давления от 1 до 5Торр, или уменьшением расстояния катод – фольга, временной интервал между пиками уменьшался (рис. 1). 3. При расстоянии катод – фольга 1мм наблюдался один импульс, длительность которого с увеличением давления также уменьшалась (рис. 2). Максимальная мощность лазерного излучения ($\lambda=480$ нм) превышала 3кВт, минимальная длительность – 30пс. Проведен анализ результатов.

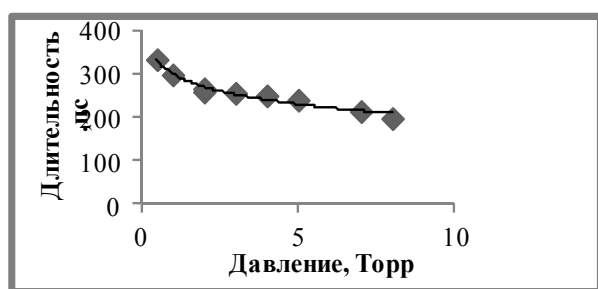


Рис. 1.

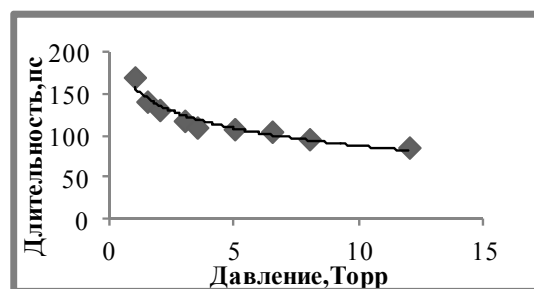


Рис. 2.

- [1] А.С. Насибов, К.В. Бережной, А.Г. Реутова, С.А. Шунайлов, М.И. Яландин. Экспериментальная установка для возбуждения полупроводников и диэлектриков пикосекундными импульсами электронного пучка и электрического поля. // ПТЭ, №1, с.75-84, (2009).
- [2] К.В. Бережной, М.Б. Бочкарев, А.С. Насибов, А.Г. Реутова, С.А. Шунайлов, М.И. Яландин. Установка для регистрации пикосекундной динамики излучения полупроводниковых мишеней в газовом диоде. // ПТЭ, №2, с.124-130, (2010).

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР НА СОЕДИНЕНИЯХ A₂B₆

А.С. Насибов¹, В.Г. Баграмов¹, К.В. Бережной¹, Г.Л. Даниелян²,
К.В. Чевокин², В.А. Подвязников²

¹ФИАН, г. Москва

²ИОФРАН, г. Москва

Приводятся устройство и результаты исследований электроразрядного полупроводникового лазера (ЭПЛ) с активной средой из соединений A₂B₆ [1]. Новое устройство лазера отличается применением кольцевых электродов и фоконна для вывода излучения (рис. 1). Активная среда – полупроводниковые пластины (CdS, ZnSe, CdZnS, CdSSe) толщиной 0.5-3мм и площадью ~1см², устанавливались непосредственно под входной плоскостью фоконна (рис. 1). В случае применения пластин из тройных соединений (CdZnS, CdSSe) генерация возникала на нескольких спектральных линиях в диапазоне от 469 до 660 нм. Динамика и спектр излучения исследовались с помощью волоконно-оптической системы, сопряженной со скоростной электронно-оптической камерой (ЭОК) и мини спектрометром. Максимальная импульсная мощность излучения, полученная на пластинах CdS ($\lambda=520$ нм) и ZnSe ($\lambda=480$ нм), превышала 3кВт. Амплитуда импульса накачки – 90кВ. Форма импульса лазерного излучения, зарегистрированная ЭОК, дана на рис.2.

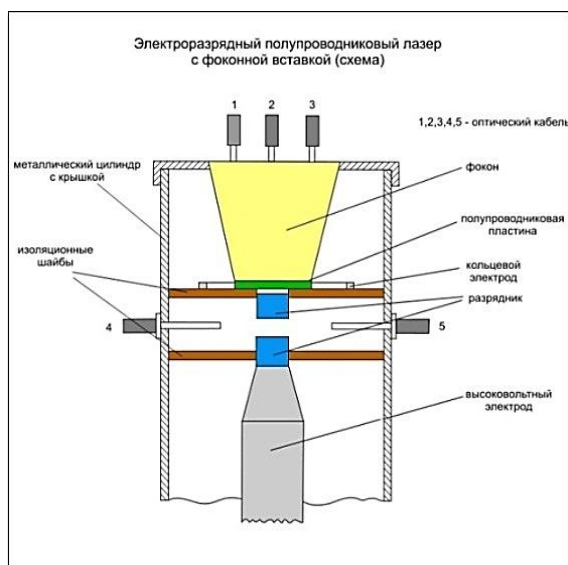


Рис. 1.

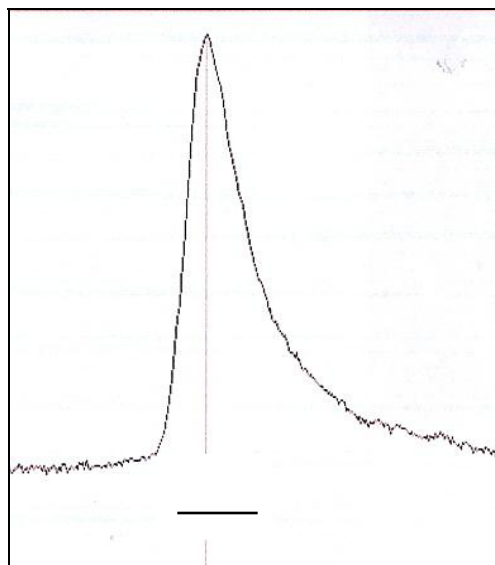


Рис. 2.

- [1] Месяц Г.А., Насибов А.С., Шпак В.Г., Шунайлов С.А., Яландин М.И. Люминесценция и генерация лазерного излучения в монокристаллах селенида цинка и сульфида кадмия под действием субнаносекундных импульсов высокого напряжения. // ЖЭТФ. 133, 6, 1162-1168, (2008).

ЛАЗЕР НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ С ЧАСТОТОЙ СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ 700 КГц

В.О. Нехорошев¹, Г.С. Евтушенко¹, С.Н. Торгаев^{1,2}, В.Ф. Федоров²

¹Томский политехнический университет, г. Томск

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

Основным режимом работы лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов является импульсно-периодический, с частотой следования импульсов накачки от единиц до десятков кГц. Именно в этом диапазоне частот получены лучшие значения по средней мощности и кпд генерации. Однако в ряде работ отмечалось, что частоты следования импульсов генерации лазеров на парах металлов (ЛПМ) и их соединений могут превышать 100 кГц. При этом достигнуты практически значимые уровни мощности и кпд. На сегодня, максимальное значение частоты повторения импульсов генерации на переходах в спектре атомов меди составляет: для лазера на парах меди – 230 кГц [1], а для лазера на парах бромида меди - 400 кГц [2]. Получение высоких частот следования представляет интерес и для понимания физических процессов, ограничивающих частотно-энергетические характеристики такого класса лазеров.

В докладе представлены экспериментальные результаты работы лазера на парах бромида меди при высоких частотах следования импульсов генерации (до 0.7 МГц). Проведен также численный анализ полученных данных. Для получения высоких частот использовалась газоразрядная трубка (ГРТ) с диаметром канала 0.7 см, длиной активной зоны 14 см, помещенная в металлический кожух с независимым подогревом, который включался только тогда, когда режим саморазогрева не достигался. Малый диаметр ГРТ выбран сознательно, с тем, чтобы наряду с объемными процессами релаксации плазмы в межимпульсный период эффективно работал и диффузионный механизм. Накачка ГРТ осуществлялась от генератора регулярных высоковольтных импульсов, собранного на базе модуляторной лампы ГМИ-27Б, включенной по схеме с общей сеткой. Схема работает в режиме частичного разряда накопительной емкости 37 нФ.

Результаты моделирования свидетельствуют о принципиальной возможности достижения частоты следования импульсов генерации лазера на парах бромида меди 1.0 МГц. Показано, что основным фактором, ограничивающим частоту следования импульсов генерации, становится концентрация метастабильных атомов меди, при этом полученная концентрация электронов не должна быть критичной.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

[1] Солдатов А.Н., Федоров В.Ф. // Изв ВУЗов, Физика, 26, №9, 80 (1983).

[2] Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Суханов В.Б., Заикин С.С. // Известия Томского политехнического университета, 312, №2, 106 (2008).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ БАРЬЕР

В.О. Нехорошев^{1,2}, Д.В. Шитц², В.Ф. Тарасенко², Ф.А. Губарев³

¹*Томский политехнический университет, г. Томск*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

³*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

Барьерный разряд – вид разряда переменного тока в газе, реализуемый при наличии одного или нескольких диэлектрических барьеров в межэлектродном зазоре. Отсутствие непосредственного контакта активной среды и электродов, а также относительная простота конструкций обуславливает целесообразность использования данного вида разряда для возбуждения активных сред лазеров и источников некогерентного излучения.

Несмотря на то, что физика барьерного разряда изучена весьма подробно, вопрос об эффективности передачи электрической энергии от источника импульсов возбуждения в нагрузку, отделенную диэлектрическим барьером, на данный момент практически не освещен.

В ходе работы построена математическая модель передачи энергии в разряд, в основе которой лежит схема замещения разрядного контура, включающая основные параметры источника импульсов возбуждения, барьера и газоразрядного промежутка. Разработана программа для оценки энерговклада в нагрузку (активное сопротивление плазмы) и поиска условий наилучшего согласования нагрузки и генератора импульсов возбуждения. Проведен частотный анализ полученной схемы замещения с учётом системы паразитных элементов, присутствующих в реальной схеме. Кроме того, выполнен анализ схемы во временной области.

С использованием данных, полученных в результате моделирования, рассчитывался коэффициент мощности χ , характеризующий степень согласования нагрузки и импульсного источника возбуждения. Результаты исследования передаточной характеристики схемы свидетельствуют о принципиальной возможности достижения высокой эффективности передачи энергии через диэлектрический барьер (60–90% в зависимости от условий), при наличии хорошего согласования источника импульсов возбуждения с нагрузкой. Для реализации режима с высоким χ необходимо выполнение целого ряда требований, предъявляемых как к спектральному составу сигнала источника возбуждения, так и к величинам паразитных параметров схемы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН В LiNbO_3 ВОЛНОВОДЕ

А.С. Никогосян¹, Р.М. Мартиросян¹, А.С. Акопян¹, М.А. Казарян², В.И. Сачков³

¹*Ереванский государственный университет, г. Ереван*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*Сибирский физико-технический институт ТГУ, г. Томск*

В связи с прогрессом нелинейной оптики, в частности, нелинейной конверсии частоты фемтосекундных оптических лазерных импульсов в терагерцовый диапазон, и созданием ТГц излучателей и детекторов, значительно возрос интерес к эффективным ТГц волноведущим устройствам. Отсутствие эффективных, широкополосных, с низкими потерями и малой дисперсией ТГц волноводов препятствует созданию устройств, для применения ТГц излучения в различных областях науки. Разработка ТГц волноводов необходима для применения их в ТГц бесконтактном дистанционном зондировании; в спектроскопии во временной области, позволяющей определить показатели преломления и поглощения материалов в уникально широкой полосе частот; в визуализации скрытых изображений; в безопасности для обнаружения оружия, взрывчаток и наркотиков, а в медицине – злокачественных тканей; в передаче излучения от источника к антенне или к приемнику; для разработки сканируемого ближне-полевого ТГц микроскопа и ТГц томографа.

Выполнено численное моделирование и экспериментальное исследование [1] распространения терагерцовой волны в LiNbO_3 волноводе. Для моделирования распространения ТГц волны в прямоугольном волноводе из кристалла LiNbO_3 , помещенной в свободное пространство, использована программа “COMSOL Multiphysics”. Для имитирования и визуализации распространения ТГц волны использовался вычислительный аппарат, основанный на методе конечных элементов. Метод конечных элементов позволяет определить потери и дисперсию ТГц волны, а также модовую структуру ТГц поля для различных частот в поперечном сечении волновода в зависимости от его местонахождения вдоль оси распространения.

Приводятся результаты исследования распространения терагерцового излучения в кристаллическом LiNbO_3 волноводе в диапазоне волн от 100 ГГц до 3 ТГц для создания эффективной широкополосной терагерцовой активной волноводной системы или частотно-сканируемой антенны.

- [1] N.N. Zinov`ev, A.S. Nikoghosyan, J.M. Chamberlain. Terahertz Radiation from a Nonlinear Slab Traversed by an Optical Pulse. // Physical Review Letters, 98, 044801-1 – 044801-4, (2007).

НАКОПИТЕЛЬ ДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАЗЕРОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

С.В. Орлов

Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону

В практике экспериментов с газоразрядными лазерами нередко возникает необходимость измерять и записывать параметры излучения и электрические характеристики газового разряда в течение длительного времени. Целью работы являлось создание простого устройства, которое может быть подключено к датчикам мощности излучения, напряжения, тока, температуры и т.д. При этом устройство должно иметь автономное питание, что значительно облегчает борьбу с наводками и помехами. После окончания цикла измерений данные через Com порт с гальванической развязкой на оптронах или через USB интерфейс передаются на ПК для дальнейшей обработки и хранения. Для решения поставленной задачи был выбран микроконтроллер 16F876 семейства PIC, имеющий встроенные модули 10-разрядного АЦП, аппаратного последовательного интерфейса. Для измерения и записи электрических параметров разряда используются 2 канала АЦП. Один канал используется для подключения измерителя мощности излучения. Еще 2 канала зарезервированы для подключения термодатчиков, температуры до 150⁰С измеряются с помощью 1-WIRE датчиков DS 18B20. Эти датчики подключаются к цифровым входам микроконтроллера. Устройство сбора данных имеет автономный режим работы без подключения к ПК. При этом измеряемые параметры выводятся на алфавитно-цифровой ЖК дисплей. Накопленные данные сохраняются в энергонезависимой памяти 24C256 и после окончания цикла измерений передаются в ПК.

Для разработки и отладки программного обеспечения используется отладчик PIC Simulator IDE [1]. Данная программа позволяет разработчику непосредственно в процессе отладки работать с виртуальной периферией, а процесс отладки и написания программ происходит непосредственно в среде отладчика. Поскольку требования к разрабатываемому устройству сбора данных трудно, а может быть и невозможно, окончательно сформулировать на этапе первичной постановки задачи, весьма желательно, чтобы экспериментатор мог оперативно изменять управляющую программу микроконтроллера, например, вводя в нее критические параметры, при которых питание лазера отключается и эксперимент прекращается. Или при необходимости экспериментатор должен иметь возможность добавить необходимые дополнительные параметры, которые следует измерить и сохранить. Для упрощения процедуры обновления прошивки микроконтроллера в устройство встроен программатор с USB интерфейсом – облегченная версия программатора PICKIT-2 [2]. Такое схемотехническое решение значительно уменьшает риск выхода из строя аппаратуры при обновлении прошивки.

[1] <http://www.oshonsoft.com/>

[2] <http://www.microchip.com.ru/DevTools/pickit2.html>

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ BST В ПЛАЗМЕ КИСЛОРОДНОГО ВЧ РАЗРЯДА

П.С. Пляка¹, И.М. Алиев², Б.Я. Севастьянов¹, Г.Н. Толмачев¹

¹*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону*

²*НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону*

Исследовались временные зависимости плотности пылевого облака, образующегося в плазме кислородного емкостного ВЧ разряда при распылении керамических мишеней BST. Эксперименты проводились в камере напыления тонких пленок сложных оксидов при замене подложечного блока на перемещаемый вдоль оси разряда электрически изолированный диск. Плотность облака отслеживалась по интенсивности рассеяния лазерного луча в перпендикулярном направлении. Определены параметры изменения плотности при выключении-включении разряда и сверхнизкочастотных колебаний в стационарном режиме для диапазона давлений и двух размеров мишени.

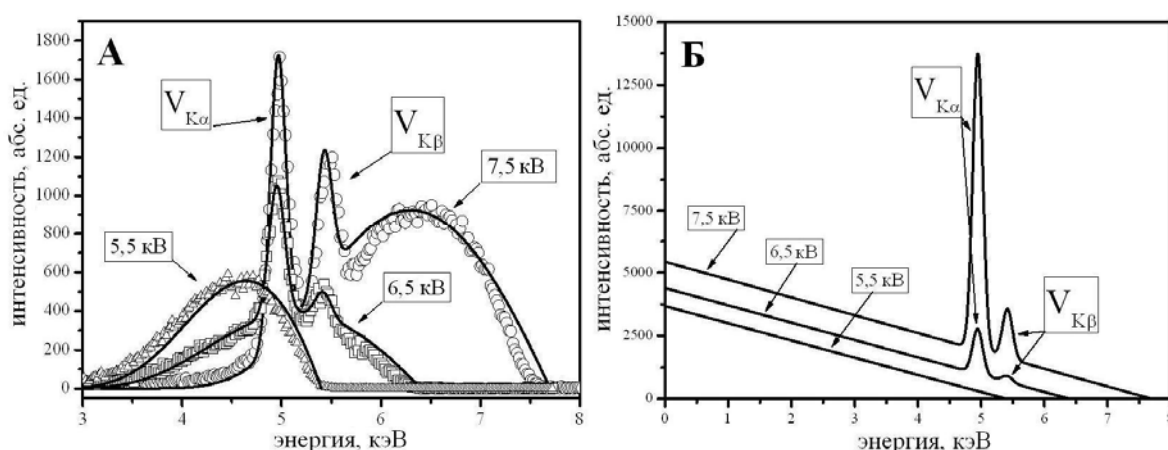
Обнаружено, что при определенных условиях пыль в процессе распыления мишени оседает на охлаждаемом катодном блоке. Определены размеры и форма собранных частиц, установлено соответствие их химического состава исходной керамике. При изменении внутренней геометрии разрядной камеры, искажающей стационарное поле разряда в радиальном направлении, удалось получить помимо дискового скопления пылевых частиц дополнительное устойчивое облако в форме, близкой к усеченному эллипсоиду.

Проведен анализ временных параметров пылевого облака и их связи с режимами распыления. Делаются предварительные выводы о транспортировке материала мишени через плазму разряда и кластерном механизме напыления тонких пленок сложных оксидов.

СПЕКТРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С УБЕГАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

В.О. Пономаренко, Г.Н. Толмачев
Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

В газовых разрядах с убегающими электронами происходит формирование пучков электронов с энергиями, приблизительно равными приложенному напряжению. Такие пучки должны формировать в зоне разряда (в газе, от металлических и диэлектрических элементов разрядной камеры) рентгеновское излучение, энергия которого зависит от быстрой части функции распределения электронов по энергиям. В таких разрядах в атмосфере O_2 обнаружен механизм послойного роста наноразмерных пленок [1] активных материалов с высоким структурным совершенством [2], который до настоящего времени не ясен. Можно ожидать, что определенную роль в механизме послойного роста играет формирующееся в разряде с убегающими электронами рентгеновское излучение. Поэтому исследование спектров рентгеновского излучения в разряде с убегающими электронами является весьма интересной и актуальной задачей. Цель данной работы – с помощью энергодисперсионной системы регистрации провести прямое исследование спектров рентгеновского излучения из газоразрядной камеры при низком давлении Ag и Xe без мишени и установить зависимость формы спектров рентгеновского излучения из газоразрядной камеры от приложенного напряжения при низком давлении O_2 с V – мишенью [3]. Доказать, что форму, спектральный состав и интенсивность рентгеновского излучения из газового разряда качественно можно описать в рамках теории рентгенофлуоресцентного анализа [4].



- [1] V.M. Mukhortov, Y.I. Golovko, G.N. Tolmachev, A.N. Klevtzov. // *Ferroelectrics*, 2000, V.247. №1-3. P.75-83.
- [2] А.С. Сигов, Е.Д. Мишина, В.М. Мухортов. // *Физика твердого тела*. 2010. Т.52. №4. С.709-717.
- [3] В.О. Пономаренко, Г.Н. Толмачев. // *Письма в ЖТФ*. 2012. Т.38. В.16. С.34 – 41.
- [4] В.П. Афонин, Н.И. Комяк, В.П. Николаев, Р.И. Плотников. *Рентгенофлуоресцентный анализ*. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1991. 173 с.

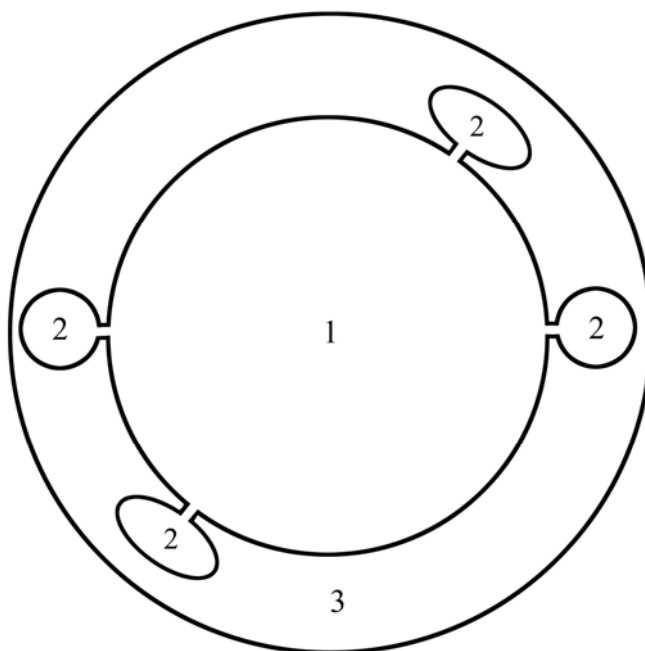
ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РАЗРЯДА В ГАЗОРАЗРЯДНОМ ЛАЗЕРЕ

В.Е. Привалов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Известно, что цилиндрическое сечение в газоразрядном лазере не является оптимальным [1]. Поиски привели к треугольному сечению, в котором должно быть усиление на 8-10% больше, чем в цилиндрическом.

Эволюция треугольника помогла отыскать сечение, в котором усиление может быть на порядок больше [2]. Дальнейшие исследования помогли найти новые принципы, которые определяют рост усиления и отыскать другие сечения. Одно из них приведено на рисунке [3].



1-сечение разряда, 2- полости в стенке активного элемента, 3- стенка активного элемента

- [1] Привалов В.Е. // Сборник трудов симпозиума «Лазеры на парах металлов», 2008, С.69.
- [2] Привалов В.Е., Юдин С.Ф. Авт. Свидетельство №704398, БИ №35, 2007.
- [3] Привалов В.Е. Патент России №107408, БИ №22, 2011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ ОТ ГЕОМЕТРИИ РАЗРЯДНОЙ ТРУБКИ В ЛАЗЕРАХ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

А.В. Рязанов, И.Г. Иванов

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Пространственное распределение электронов в плазме разряда лазеров на парах металлов, в том числе, Tl-He и Tl-Ne лазеров напрямую влияет на параметры лазерной генерации. В данной работе рассматривалось несколько видов геометрии газоразрядной трубки и влияние последней на пространственное распределение концентрации электронов.

Для проведения расчетов предполагалось, что в положительном столбе Tl лазера в радиальном направлении основной вклад в пространственное распределение электронов $N(V)$ вносит диффузионный дрейф электронов к стенкам трубки. Для данного процесса запишем уравнение диффузии для N :

$$\frac{dN}{dt} = \Delta N + f(t, x) \quad (1)$$

Решением данного уравнения для случая круглого сечения будет функция:

$$N(V) = J_0(2,405 \frac{r}{a}), \quad (2)$$

где V – объём разрядной трубки, J_0 – функция Бесселя нулевого порядка.

Для прямоугольного:

$$N(V) = \cos(\frac{\pi x}{2a}) \cos(\frac{\pi y}{2b}) \quad (3)$$

Наибольшую сложность для расчетов представляет разрядная трубка эллиптического сечения, для которой решением уравнения диффузии являются функции Матье:

$$ce_0(\xi, q) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \cos(2k\xi) \text{ и } ce'_0(\eta, q) = \sum_{k=0}^{\infty} B_k \cos(2k\eta) \quad (4)$$

Расчет коэффициентов A_k , B_k и сумм рядов достаточно долгий и трудоемкий процесс. Поэтому нами был составлен и программно реализован алгоритм решения уравнения диффузии численными методами в среде программирования Scilab. Одним из наиболее распространенных методов решения уравнений в частных производных является метод сеток.

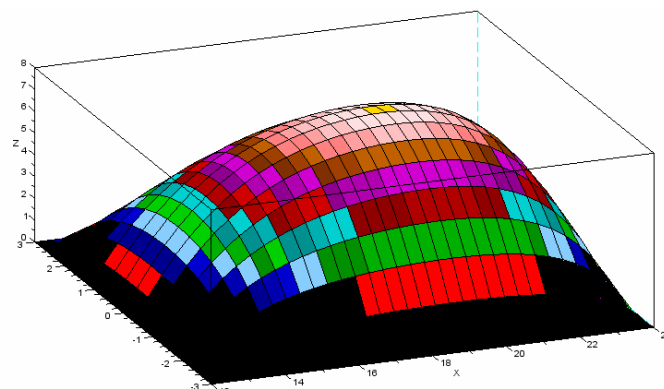


Рис.1. Результаты моделирования зависимости концентрации электронов от пространственных координат в поперечном сечении газоразрядной трубки.

При решении таких уравнений с помощью явной разностной схемы основными проблемами являются устойчивость решения и правильный выбор шага по времени. Для устранения данной проблемы при составлении алгоритма нами были использованы неявные разностные схемы, которые абсолютно устойчивы, хотя алгоритм решения получаемого сеточного уравнения становится несколько сложнее. На рисунке 1 приведены результаты моделирования.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ

А.Н. Солдатов¹, Н.А. Юдин¹, Е.Л. Латуш², Г.Д. Чеботарев²,
А.А. Фесенко², Ю.П. Полунин¹, А.В. Васильева¹,
И.Д. Костыря^{1,3}, Д.А. Куксгаузен¹

¹*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

²*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону*

³*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

Представлены результаты экспериментальных исследований частотно-энергетических характеристик лазера на самоограниченных ИК переходах атома и иона стронция в импульсно-периодическом режиме и методом введения перед каждым импульсом возбуждения дополнительного импульса (модифицированный режим), а также результаты численного моделирования кинетики процессов в активной среде этого лазера. Показано, что частота следования импульсов генерации самоограниченного лазера на парах стронция может достигать ~ 1 МГц. Установлено, что увеличение энергии импульса генерации, КПД и средней мощности генерации лазера в определенном диапазоне задержек между дополнительным и возбуждающим импульсами обусловлено существенной остаточной предимпульсной концентрацией не успевших прорекомбинировать ионов стронция. Показана перспективность использования пачек импульсов для возбуждения самоограниченных ИК переходов стронция. Экспериментально достигнута предельная частота следования импульсов генерации ~ 830 кГц на самоограниченных ИК переходах SrI ($\lambda = 6,456$ мкм, $\lambda \sim 3$ мкм) и SrII ($\lambda \sim 1$ мкм) в лазере на парах стронция, работающем в саморазогревном импульсно-периодическом режиме, что согласуется с результатами численного моделирования. Экспериментально установлено, что энергосъем в Sr-лазере пропорционален энерговкладу в активную среду в широком диапазоне частот следования импульсов возбуждения, при этом суммарная удельная средняя мощность генерации составляет $\sim 30\text{--}40$ мВт/см³.

Работа выполнена в рамках реализации гранта: НШ-512.2012.2.

ДВУХЭЛЕМЕНТНЫЙ ЛАЗЕР, ГЕНЕРИРУЮЩИЙ НА 10 ДИСКРЕТНЫХ ЛИНИЯХ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 0,51 ДО 6,45 МКМ

А.Н. Солдатов¹, Ю.П. Полунин¹, А.В. Васильева¹, И.Д. Костыря^{1,2},
Е.А. Колмаков¹, Д.А. Куксгаузен¹, А.Г. Филонов³

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

³*Институт оптики и атмосферы, г. Томск*

Для большого числа практических приложений требуются лазеры, имеющие генерационные спектральные линии в различных участках оптического спектра. Определенный интерес с этой точки зрения представляют многоволновые лазерные системы, которые могут быть использованы для зондирования атмосферы, медицины и других применений.

При совмещении паров различных элементов в одном активном объеме появляется возможность значительного увеличения числа генерируемых переходов. В одних случаях лазерные линии видимого диапазона могут быть использованы как диагностические, в других для визуализации генерационной системы, которая работает на ИК - линиях. Первый подобный лазер на парах меди и золота с пространственно разнесенными активными средами был создан в 1979 году[1].

В данной работе исследовался лазер, работающий на переходах видимого и ИК - диапазона при использовании паров Sr и CuBr с наносекундной длительностью и с частотой повторения импульсов 18 кГц. Активный элемент представлял собой ГРТ, объемом активной части 50 см³, диаметром 15 мм. Исследования проводились при изменении давления и рода буферного газа (He и Ne), а также условий накачки. Получена одновременная эффективная генерация переходах CuBr (0,51 и 0,58 мкм), атомах (6,45; 3,01; 3,06; 2,92; 2,69; 2,6 мкм) и ионах (1,03 и 1,09 мкм) стронция. Суммарная мощность генерации превышала 4 Вт. Исследованы различные условия возбуждения, когда мощность генерации распределена относительно по разным спектральным линиям равномерно, и когда 70% мощности сосредоточено на линии 6,45 мкм. Исследованный лазер может быть использован как задающий генератор с визуализацией излучения в системе генератор - усилитель для абляции биотканей [2].

Работа выполнена в рамках реализации гранта: НШ-512.2012.2.

- [1] Солдатов А.Н., Кирилов А.Е., Полунин Ю.П., Федоров В.Ф. Многоцветный импульсный лазер. // Мат. 5 Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере.- Томск: ИОА СО АН СССР, 1979. С.101-105.
- [2] Солдатов А.Н., Филонов А.Г., Полунин Ю.П., Васильева А.В. Лазерная система «генератор-усилитель» на парах стронция со средней мощностью более 20 Вт. // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т.21. – №8. – С.666-668.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ Sr-ЛАЗЕРА

А.Н. Солдатов, Т.М. Горбунова, А.В. Васильева

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

Исследованы интенсивности ряда спектральных линий SrI, SrII, NeI и HeI в низкотемпературной плазме газового разряда Sr-лазера. Проведена оценка неупругих процессов в типичных условиях разряда. Обсуждаются особенности поведения функции распределения электронов по энергиям. Сделана оценка параметров импульсно-периодического разряда в Sr-лазере, в которых можно пользоваться приближением максвелловского распределения электронов по энергиям.

МНОГОВОЛНОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ: ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

А.Н. Солдатов

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

В настоящей работе приведены результаты систематических исследований лазера на парах стронция в широком диапазоне условий. За последние пять лет в этом лазере получен ряд рекордных результатов (средняя выходная мощность 22 Вт, частота повторения импульсов 830 кГц, энергия в импульсе генерации 2 мДж), реализована одновременная генерация на r - m и m - m переходах, в одном активном элементе осуществлена генерация в рекомбинационном и ионизационном режимах. Впервые получены наряду с самоограниченными линиями генерации атома и иона Sr линии генерации на многих переходах атомов He и Ne. Получена генерация на самоограниченном переходе атома He – $\lambda = 2058$ нм при газоразрядном способе возбуждения. На основе компьютерного моделирования показана перспективность цугового режима работы лазера и возможность реализации высоких частот повторения импульсов (свыше 1 МГц), что было подтверждено экспериментально.

Результаты фундаментальных исследований легли в основу разработки новых лазерных систем и отпаянных элементов на парах стронция.

Работа выполнена в рамках реализации гранта: НШ-512.2012.2.

МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫЙ ЛАЗЕР НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ «MLM-01»

А.Н. Солдатов^{1,2}, И.К. Костадинов³, Ю.П. Полунин¹, И.В. Реймер^{2,4},
А.В. Васильева¹, Н.А. Юдин¹

¹*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

²*ООО «ЛИТТ», г. Томск*

³*Pulslight Ltd., Bulgaria*

⁴*Сибирский физико-технический институт при ТГУ, г. Томск*

Лазерный комплекс на парах металлов «MLM-01» разработан в Национальном исследовательском Томском государственном университете (ТГУ) совместно с «PulsLight» Ltd. (Bulgary) и ООО «Лазерные инновационные технологии Томска».

Проводимые в ТГУ исследования частотно-энергетических характеристик лазеров на самоограниченных переходах атомов и ионов Sr и Ca, и в фирме «PulsLight» Ltd. (Bulgary) CuBr-лазеров позволили определить условия накачки, идентичные для вышеперечисленных активных сред, при которых реализуются энергетические характеристики лазеров с приемлемыми параметрами для многих практических приложений. Это позволило разработать блок питания лазера, в котором без изменения параметров накачки можно работать с различными активными средами (CuBr, Sr и Ca), заменяя, соответственно, активные элементы, которые имеют идентичные геометрические размеры. Формирование импульсов возбуждения в источнике питания лазера осуществляется за счет разрядки накопительного конденсатора через импульсный трансформатор на базе IGBT-транзистора с последующей компрессией импульса возбуждения многоступенчатой линией сжатия. Это позволяет, с одной стороны, производить эффективное возбуждение активных сред, с другой стороны, из схемы возбуждения исключается тиратрон, имеющий малый срок службы.

Лазерный комплекс предназначен для лечебно-профилактической и научно-исследовательской деятельности, а также для использования в различных технологиях обработки материалов.

Работа выполнена в рамках реализации гранта: НШ-512.2012.2.

МНОГОВОЛНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ И ОБРАБОТКИ СТЕКЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ

А.Н. Солдатов¹, Ю.П. Полуни¹, А.В. Васильева¹, Д.А. Куксгаузен¹,
В.К. Сысоев², П.А. Вятлев²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

²*ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Химки*

В работе выполнено подробное описание научно-исследовательской работы по изучению управляемого термораскалывания с использованием лазера на парах стронция. В этом случае основой термораскалывания является локальное термонапряжение, вызывающее появление микротрещины. Как известно, термонапряжение в первую очередь зависит от глубины поглощения применяемого лазерного излучения. Для CO₂-лазера ($\lambda = 10,6$ мкм) оно носит поверхностный характер (~100 мкм), для Nd-лазера ($\lambda = 1,06$ мкм) оно носит объемный характер и, как правило, распространяется на всю толщину стекла. Для Sr-лазера ($\lambda = 6,45$ мкм и длин волн в области 1 и 3 мкм) оно имеет величину порядка 300 - 600 мкм, а создаваемые термонапряжения имеют форму клина, что позволяет раскалывать стекла насквозь с толщиной, больше величины слоя, в котором поглощается лазерное излучение. Это позволяет резать стекла большой толщины с высоким качеством края и с большой скоростью.

Следует отметить, что на сегодняшний день этот метод является наиболее прогрессивным методом резки хрупких материалов, соответствующим современным технологическим требованиям.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ АБЛЯЦИИ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ В ИК-ДИАПАЗОНЕ

А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, А.В. Васильева,
Л.Н. Чаусова, Е.Е. Рюттель

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

Были выполнены исследования резонансной абляции костных тканей *in vitro* под действием импульсно-периодического излучения лазера на парах стронция при изменении параметров лазерного излучения в широком диапазоне условий (энергия в импульсе 0,5 – 1 мДж, частота повторения импульсов 6 – 10 кГц). При данных условиях побочные тепловые эффекты были явно выражены, ширина зоны термического повреждения составляла 200 – 300 мкм (при ширине реза 100 – 150 мкм).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что лазер на парах стронция может использоваться для резонансной абляции, однако для минимизации побочных эффектов и увеличения интенсивности абляции необходимо улучшать качество пучка, повышать импульсную мощность генерации и понижать частоту повторения импульсов.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 11-02-98019-р_сибирь_a и частичной поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», гос. контракт № 14.518.11.7038.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БАРИЯ

А.Н. Солдатов¹, Ю.П. Полунин¹, А.В. Васильева¹,
И.Д. Костыря^{1,2}, Д.А. Куксгаузен¹

¹*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

В данной работе представлены экспериментальные исследования лазера на самоограниченных переходах в парах бария. Исследования проводились в саморазогревном режиме с керамической газоразрядной трубкой внутренним диаметром 8 мм и длиной 180 мм. В качестве буферного газа использовалась смесь гелия и неона при давлении от 30 до 80 Торр. Накачка активной среды осуществлялась при частоте следования импульсов возбуждения от 100 до 320 кГц и напряжении на высоковольтном выпрямителе в диапазоне 0,95 - 1,25 кВ, в роли коммутатора использовался таситрон ТГУ1-60/7.

Экспериментальные исследования лазера на парах бария, проводимые в указанных условиях, позволили достичь рекордной частоты следования импульсов генерации – 320 кГц. Следует отметить, что предельная частота f была ограничена возможностями коммутирующей части схемы, а не свойствами активной среды.

Проведенные исследования также позволили выявить зависимость поведения энергетических характеристик лазера на парах бария от давления и рода буферного газа. Эффективность накачки активной среды заметно падает с увеличением давления буферного газа, а именно, с увеличением давления менее чем в два раза.

Работа выполнена в рамках реализации гранта: НШ-512.2012.2.

СИСТЕМА ГЕНЕРАТОР-УСИЛИТЕЛЬ НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ ДЛЯ АБЛЯЦИИ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ

А.Н. Солдатов¹, Ю.П. Полунин¹, А.В. Васильева¹,
И.Д. Костыря^{1,2}, Д.А. Куксгаузен¹

¹*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск*

Особый интерес представляет лазерная резонансная абляция в ИК-диапазоне при наносекундной длительности импульсов. Для дальнейших исследований резонансной абляции биотканей была разработана и создана система генератор-усилитель на парах стронция. Первые исследования с подобной системой проводились при высоких частотах следования импульсов и позволили достичь максимальной средней мощности 22 Вт [1].

В данной работе проведено исследование системы «генератор-усилитель» в диапазоне 6-9 кГц, так как ранние проведенные исследования лазера на парах стронция показали, что с понижением частоты следования импульсов растет энергия в импульсе [2,3], а для абляции биотканей необходима энергия <2 мДж, и понижение частоты следования импульсов до единиц кГц [3].

Таблица 1. Энергетические характеристики системы генератор-усилитель при различных частотах следования импульсов

F, кГц	P _Σ , Вт	P _{6,45} , Вт	P _{~3} , Вт	P _{~1} , Вт	E, мДж	U, кВ	I, мА	P _{Ne+P_{He}} Topp
6	6	4	1,2	0,8	1	5,9	290	15+90
8	6,15	3,15	2	1	0,76	5,9	290	15+90
8	5,5	2,3	2,1	1,1	0,7	5,9	290	15+90
9	6,2	3	2	1,2	0,6	5,7	310	15+90

В работе значительно повышены энергетические параметры лазерной системы генератор-усилитель на парах стронция, получена энергия в импульсе, равная 1 мДж, причем 70% от этого значения приходилось на линию 6,45 мкм. При этом за счет высокого качества выходного излучения достигнута высокая плотность энергии ~20 Дж/см², малая расходимость пучка. Проведенные предварительные эксперименты по воздействию доказали обоснованность использования данной системы для целей лазерной абляции биотканей.

- [1] Солдатов А.Н., Филонов А.Г., Полунин Ю.П., Васильева А.В., Лазерная система «генератор-усилитель» на парах стронция со средней мощностью более 20 Вт. // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т.21. - №8. С.666-668.
- [2] Солдатов А.Н., Васильева А.В., Ермолаев А.П., Полунин Ю.П., Сидоров И.В., Филонов А.Г., Исследовательская лазерная установка для резонансной абляции материалов. // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т.19. - №2-3. С.172-177.
- [3] Edwards G.S., Pearlstein R.D., Copeland M.L., Hutson M.S., Latone K., Spiro A., Pasmanik G., 6450 nm wavelength tissue ablation using a nanosecond laser based on difference frequency mixing and stimulated Raman scattering. // Optics Letters. – 2007. – V.32. – No.11. – P.1426–1428.

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ОТ ДАВЛЕНИЯ ПАРОВ МЕТАЛЛА В He-Cd И He-Zn ЛАЗЕРАХ С ПОПЕРЕЧНЫМ ВЧ РАЗРЯДОМ

Строкань Г.П.

НИИ Физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

При определении давления паров металлов в активном объёме лазера по температуре отростка с рабочим веществом возникает ошибка, связанная с градиентом давления по длине от испарителя до активного объёма. В случае, когда гранулы рабочего вещества вынесены из зоны разряда, но расположены в непосредственной близости от разрядного канала, можно полагать, что давление паров металла в канале будет соответствовать давлению насыщенных паров при данной температуре. Размещение гранул непосредственно в зоне разряда может приводить к распылению рабочего вещества ионами и атомами с высокой энергией, что увеличивает давление паров металла по сравнению с термоиспарением. Экспериментально показано, что оптимальная температура для зеленых линий иона кадмия на 20 градусов ниже при расположении гранул в зоне разряда, по сравнению с вынесенными из зоны.

Максимум мощности генерации для линий, начинающихся с уровня 4f иона кадмия и цинка достигается примерно при одной и той же концентрации атомов металла, что определяется сходными механизмами накачки этих линий.

Характерным для таких лазеров является большое оптимальное давление и большой диапазон рабочих давлений паров металла по сравнению с катафорезными лазерами, который составляет 1 – 2 порядка. Аналогичные свойства отмечались для лазеров с ПВЧР в симметричных конструкциях, а также в лазерах с РПК. Высокое давление паров металла в ЛПМ с ПВЧР по сравнению с катафорезными лазерами объясняется наличием в ПВЧР группы быстрых электронов.

Как отмечается в работе, отличительной особенностью асимметричных конструкций является высокое значение оптимального давления гелия, в два раза превышающее давление для разрядных трубок симметричных конструкций, и как следствие, большая мощность генерации.

Таким образом, в ЛПМ с ПВЧР в асимметричных конструкциях диапазон рабочих давлений паров металла определяется наличием в ПВЧР группы быстрых электронов, обеспечивающих интенсивную ионизацию атомов в разряде.

РАЗРУШЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРОДОВ В ЛАЗЕРАХ С ПОПЕРЕЧНЫМ ВЧ РАЗРЯДОМ ЗА СЧЁТ БЛИСТЕРИНГА

Строкань Г.П.

НИИ Физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

При проведении исследований блистеринга в используемых разрядных трубках учитывались зависимости этого явления от температуры, рода газа и материала электрода. Полученные результаты сводятся к следующему.

Макроскопические частицы возникают как в разряде гелия, так и в смеси гелий-кадмий, причем в разряде гелия концентрация этих частиц выше. В разряде других газов (воздух, криптон) макроскопические частицы практически не образуются.

1. Из всех рассмотренных электродов при температуре 300°С наибольшее выделение макроскопических частиц наблюдается в разряде с электродами из нержавеющей стали и из никеля. В разряде с алюминиевыми электродами и электродами, имеющими нитридное покрытие, выделение частиц незначительно. В случае кварцевого и керамического электродов макроскопические частицы практически не появляются.

2. Температурная зависимость выделения макроскопических частиц изучалась в разряде гелия с электродами из нержавеющей стали. При невысоких температурах ($T < 150^{\circ}\text{C}$) не происходило заметного пылеобразования. При температуре $T = 280^{\circ}\text{C}$ происходит интенсивное выделение макроскопических частиц с последующим оседанием их на стенках разрядной трубки. Дальнейший рост температуры электрода приводил к снижению пылеобразования, и при температуре $T = 700^{\circ}\text{C}$ выделение макроскопических частиц минимально.

Следует отметить, что нагревая электроды в отсутствие разряда, не удалось получить заметного пылеобразования. Нагрев электрода осуществлялся как внешним нагревателем, так и за счет индукционного нагрева до температуры порядка 600°С.

Полученные результаты объясняются свойствами блистеринга.

1. При использовании различных газов наиболее интенсивное образование блистеров должно наблюдаться для разряда в чистом гелии, так как гелий не связывается с материалом электрода и, попадая в имеющиеся пустоты, вызывает блистеринг.

2. Факты, полученные при исследовании электродов из различных материалов, объясняются следующим образом. Атомы гелия, попадая во внутрь электрода, скапливаются в пустотах, создавая в них большое давление. В результате этого происходит вспучивание – блистер, а затем и разрушение электрода. В случае пористой поверхности атомы гелия по порам выходят на поверхность, не разрушая электрод. Наиболее наглядно это проявляется в случае электрода из кварца, который имеет высокую проницаемость для гелия $= 7 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{l/cm}^2$ при температуре 300°С, в то же время, согласно правилу Нортона, металлы не проницаемы ни для одного из инертных газов, что должно приводить к блистерингу.

Значительно меньшее выделение микрочастиц в разряде с алюминиевыми электродами объясняется наличием окисной пленки, толщина которой превышает глубину внедрения атомов гелия. Кроме того, рабочая температура, при которой происходило исследование алюминиевого электрода, составляла $0,7 \cdot T_p$ (T_p – температура плавления), а при температуре $(0,5 - 0,6) \cdot T_p$ и более блистеринг маловероятен. Аналогичные результаты получены для электродов с покрытием нитрида титана при толщине покрытия порядка 20 мкм .

3. Закономерности появления макроскопических частиц от температуры совпадают с закономерностями, полученными в работах для термоядерных реакторов. Приведенные выше зависимости блистеринга от температуры хорошо совпадают с наблюдаемым возникновением макроскопических частиц в разряде гелия с электродами из нержавеющей стали. При температуре меньшей 150°C на поверхности электрода под действием потока ионов гелия образуются блистеры малых (порядка единиц микрометров) диаметров. При отрыве крышек блистеров малых диаметров не происходит заметного пылеобразования в силу того, что интенсивность разрушения поверхности при этой температуре значительно меньше (на один – два порядка), чем при отшелушивании. При температуре $T = 0,3 \cdot T_p$ блистеринг сменяется отшелушиванием. При этом возрастает скорость эрозии и размеры частиц. При температуре электрода порядка 700°C на его поверхности в результате бомбардировки ионами гелия образуются блистеры малых диаметров, т.е., отшелушивание сменяется блистерингом. В эксперименте это проявляется в существенном уменьшении пылеобразования в разрядном объеме.

Таким образом, в разряде (как в ВЧ, так и постоянного тока) на поверхности металлических электродов возникает блистеринг. В зависимости от материала электрода и температуры блистеринг может проявляться либо в срыве крышек блистеров небольшого диаметра (от единиц до десятков микрометров), либо в отшелушивании, при котором разрушение поверхности электрода происходит со скоростью на один два порядка большей, и продукты разрушения имеют размер нескольких сотен микрометров.

КИНЕТИКА АКТИВНОЙ СРЕДЫ CuBr-ЛАЗЕРА С ДОБАВКАМИ H₂, HBr

С.Н. Торгаев^{1,2}

¹ *Томский политехнический университет, г. Томск*

² *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

CuBr лазеры обладают рядом привлекательных черт по сравнению с обычными лазерами на парах меди [1-3] – возможностью существенного снижения температуры стенок лазерной трубки (с 1600-1700°C до 500-700°C) и возможностью получения больших частот следования импульсов излучения [4]. При этом вопросы о том, каков механизм ограничения частотно-энергетических характеристик лазеров на самоограниченных переходах и каковы максимальные частоты следования, остаются открытыми. Моделирование данного лазера сдерживается многими, не выявленными пока вопросами, например, до сих пор неясен механизм наработки металлической меди в активной среде CuBr-лазера.

В работе представлена кинетическая модель CuBr-лазера с водородосодержащими добавками и без них. Отсутствие данных о кинетике Cu_nBr_m молекул компенсировалось учетом процесса диффузии CuBr от стенок ГРТ, что позволило получить достаточно хорошее согласование разработанной модели с экспериментальными результатами. Моделирование цугового режима работы CuBr-лазера, с привлечением экспериментальных данных, позволило провести оценку процессов восстановления молекул CuBr.

Для выявления процессов ограничения частотных характеристик данного лазера были проведены экспериментальные исследования, на основе которых была разработана модель, с частотами следования импульсов накачки до 100 кГц. В результате моделирования были выявлены основные факторы, ограничивающие частотно-энергетические характеристики CuBr-лазера. На основе модельных результатов была показана принципиальная возможность получения частот следования импульсов генерации в смеси с добавкой HBr до 1 МГц.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

- [1] Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск, Наука, 1985, - 152 с.
- [2] Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И., Молодых Э.И. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. – М.: "Научная книга", 1998. - 544с.
- [3] Little C.E. Metal Vapor Lasers: Physics, Engineering & Applications (Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd., 1998, 620 p.).
- [4] Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. Томск, Изд. ТПУ, 2010. - 276 с.

ЛАЗЕРНЫЙ МОНИТОР В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

М.В. Тригуб^{1,2}, Г.С. Евтушенко¹, Ф.А. Губарев^{1,2}, С.Н. Торгаев^{1,2}

¹*Томский политехнический университет, г. Томск*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

Работа посвящена рассмотрению одной из перспективных областей применения лазеров на парах металлов, и, в частности, лазеров на парах галогенидов металлов, - визуализации быстропротекающих процессов, экранированных фоновой засветкой. Потребность в получении достоверных данных о явлениях, происходящих в зонах взаимодействия мощных потоков энергии с веществом, является весьма важной задачей. Указанные процессы протекают при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС), при лазерной обработке материалов, нанесении тонких пленок и т.д. Наблюдение таких процессов возможно с использованием простой лазерной подсветки, если мощность засветки не столь высока. Либо с использованием активных оптических систем на основе лазерных проекционных микроскопов - скоростных лазерных мониторов (в условиях мощной засветки). В предлагаемых методах целесообразно использование активных сред лазеров на парах металлов благодаря уникальному сочетанию свойств, таких как, работа в видимом диапазоне спектра, высокий коэффициент усиления, высокая спектральная яркость, высокая частота следования импульсов излучения.

В докладе представлены результаты визуализации процесса СВС как методом лазерной подсветки, так и с использованием лазерного монитора. В обоих случаях регистрация проводилась в покадровом режиме, т.е. каждый кадр формировался одним импульсом сверхсветимости. Спектр собственной засветки СВС близок к спектру абсолютно черного тела с температурой от 1500 до 3000 К. Проведенные расчеты показали, что предельные температуры, при которых возможно наблюдение объектов лазерным монитором в одиночном импульсе излучения существенно выше и составляют порядка 20000 К. В качестве эксперимента визуализирован тестовый объект, экранированный засветкой, создаваемой дугой постоянного тока, с температурой порядка 12000 К. Для анализа качества изображений проведена цифровая обработка полученных кадров, которая показала, что контраст при наличии засветки практически соответствует контрасту изображения без засветки. Что свидетельствует о возможности визуализации объектов и явлений в условиях и более мощных засветок, чем при СВС.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС ОЦЕНКИ РАДИАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ CuBr-ЛАЗЕРА

М.В. Тригуб^{1,2}, С.Н. Торгаев^{1,2}, Г.С. Евтушенко¹, Д.В. Шиянов²

¹*Томский политехнический университет, г. Томск*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

Одно из перспективных применений лазеров на парах металлов и их галогенидов – системы с усилителями яркости, такие, как лазерные проекционные микроскопы, лазерные мониторы. Определяющим параметром для этих систем является качество получаемых изображений, на которое влияют как используемая оптика, так и усилительные свойства активной среды. Очевидно, что чем равномернее радиальный профиль усиления, тем качественнее получается изображение. Введение активной добавки HBr выравнивает профиль (не наблюдается провал в центральной области). Так же профиль выравнивается при увеличении температуры печей, что приводит к увеличению концентрации рабочего вещества (CuBr) [1].

Для определения оптимальных условий работы усилителя яркости для лазерного монитора предлагается экспресс диагностика профиля усиления. Используя лазерный монитор с покадровой регистрацией изображения, производится фотографирование пучка генерации и сверхсвечивости. Т.к. изображение формируется одиночным импульсом, искажения минимальны. После этого, используя разработанные программные средства на основе свободного софта с открытым кодом ImageJ, получаем распределение интенсивности, которое соответствует распределению эффективного усиления по поперечному сечению. Был проведен ряд экспериментов по определению профиля луча при различных частотах работы как с добавкой HBr, так и без нее.

Теоретическая оценка радиальных профилей проводилась с помощью пакета программ ПЛАЗЕР. Учет радиальных составляющих осуществлялся за счет изменения радиального профиля температуры газа. Распределение вводимой в разряд мощности по радиусу задавалось функцией Бесселя первого рода, нулевого порядка. В модели учитывались диффузия атомов меди и молекул CuBr на стенку ГРТ, а также диффузия молекул бромида меди от стенки. При этом сечение молекул CuBr примерно в десять раз превышает диффузионное сечение атомов меди. Полученные расчётным путем радиальные распределения интенсивности излучения близки к экспериментальным, что говорит об адекватности данного метода оценки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание №7.586.2011.

- [1] Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. Томск, Изд. ТПУ, 2010. - 276 с.

РЕЖИМ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ГЕНЕРАЦИИ CuBr-ЛАЗЕРА

В.Ф. Федоров, К.В. Федоров, Ф.А. Губарев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск
Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

Лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов (ЛПМ) находят применение для решения ряда практических задач, таких как микрообработка материалов, импульсное воздействие на среду, передача информации и др. ЛПМ, в частности лазеры на парах бромида меди, позволяют получать высокую энергию в импульсе генерации (единицы мДж), что делает их востребованными в задачах дистанционного зондирования атмосферы. Поэтому наравне с проблемой повышения частоты следования импульсов (ЧСИ), становится актуальной задача получения высокой импульсной энергии при относительно низкой ЧСИ (десятки Гц – единицы кГц).

Типичным режимом работы лазеров на парах металлов является импульсно-периодический режим с ЧСИ возбуждения 10–50 кГц. При такой ЧСИ реализуется саморазогревной режим работы высокотемпературных ЛПМ и стационарный режим наработки металла в низкотемпературных лазерах на парах галогенидов металлов (меди). Для таких частот характерно наличие сильных кумулятивных эффектов в активной среде лазера. При ЧСИ порядка 50–100 Гц этими эффектами можно пренебречь, и считать такой режим режимом одиночных импульсов. Для получения генерации в парах бромида меди в режиме одиночных импульсов необходимо, с одной стороны, обеспечить требуемый температурный режим, а с другой стороны, возбуждать активную среду удвоенными импульсами. Первый для диссоциации (подготовительный), второй для возбуждения атомов меди (основной).

В докладе рассмотрен вариант реализации режима одиночных импульсов в лазере на парах бромида меди в ГРТ диаметром 1,2 см и длиной 45 см. Основной особенностью схемы накачки являлось применение тиристорного блока формирования подготовительных импульсов. Исследовались зависимости энергии генерации от параметров основного и подготовительного импульсов. Наблюдался рост энергии в импульсе генерации при увеличении как энергии подготовительного импульса (до 73 мДж), так и энерговклада в основном импульсе возбуждения до окончания генерации (до 7 мДж). То есть, насыщения характеристик в ходе проведенных экспериментов достигнуто не было. Максимальная энергия в импульсе генерации составила 24 мкДж.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ЛАЗЕР НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

В.Ф. Федоров¹, А.И. Федоров¹, Д.В. Шиянов^{1,2}, К.В.Федоров^{1,2}
¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*
²*НИИ Томский политехнический университет, г. Томск*

Одним из недостатков импульсно-периодических лазеров на парах галогенидов меди является низкая импульсная энергия генерации. Это ограничивает применение этих лазеров в различных областях науки и техники. Например, часто для задач технологического плана, при зондировании параметров атмосферы, передачи сигналов в водной среде и т.д. требуются высокие энергии генерации и низкие частоты следования импульсов (ЧСИ) – десятки-сотни Гц.

Ранее в [1], используя методику возбуждения CuCl - лазера с большим объемом сдвоенными импульсами, когда первый импульс выполняет функцию диссоциации молекулы CuCl, а второй возбуждает атомы меди, была достигнута энергия генерации 10 мДж. При этом для накачки газоразрядной трубки (ГРТ) использовались два мощных тиратронных источника питания. Частота следования между импульсами диссоциации и возбуждения составляла 10-30 кГц, а между двумя парами импульсов – 10-100 Гц.

В данной работе предлагается способ возбуждения CuBr - лазера сдвоенными импульсами с использованием компактного источника питания. Тиристорный источник позволял формировать диссоциирующий импульс с большой энергией при малой амплитуде импульсов тока и напряжения. Для возбуждения атомов меди использовался блок коммутации на основе разрядника РУ-62. Лазер работал с ЧСИ генерации до 50 Гц. Частота между двумя импульсами варьировалась от 10 до 100 кГц. Первоначальные исследования энергетических характеристик CuBr - лазера длиной активной зоны 90 см и диаметром 2 см выполнены в зависимости от задержки между импульсами диссоциации и возбуждения, при изменении энергии этих импульсов.

Дальнейшие работы по оптимизации отдельно каждого импульса с использованием ГРТ с большим объемом рабочей зоны позволят достичь практически значимых значений энергии генерации. Кроме этого существует возможность повышения КПД лазера относительно импульса возбуждения.

- [1] Nerheim N.M., Vetter A.A., Russel G.R. Scaling a double-pulsed copper chloride laser to 10 mJ. // Appl. Phys. 1978. Vol.49. N.1. P.12-15.

РЕВЕРСИВНЫЙ ИСТОЧНИК НВr ДЛЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

А.Г. Филонов¹, Д.В. Шиянов^{1,2}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

²НИИ Томский политехнический университет, г. Томск

Приводятся результаты исследования работы реверсивного источника НВr для лазера на парах бромид меди. Использование добавки НВr в лазерах на парах бромид меди приводит к почти таким же результатам, как и применение добавки водорода: возрастает мощность генерации и эффективность работы лазера. Преимущество использования добавки НВr заключается в том, что при этом можно использовать ее реверсивный источник [1], в то время как в условиях работы лазеров на парах бромид меди работа реверсивного источника водорода затруднена вследствие его взаимодействия с компонентами активной среды. Реверсивный источник НВr на основе цеолита позволяет оперативно подстраивать давление добавки на оптимальное значение, при котором мощность генерации максимальна при заданной вводимой в разряд мощности, что, очевидно, существенно удобнее в эксплуатации лазеров на парах металлов. Поведение характеристик лазера зависит от дозы добавки НВr, из чего следует необходимость управления ее величиной. В силу этого, представляет определенный практический интерес экспериментально детальнее рассмотреть реверсивные свойства источника НВr. На рисунке представлено поведение давления НВr в зависимости от температуры.

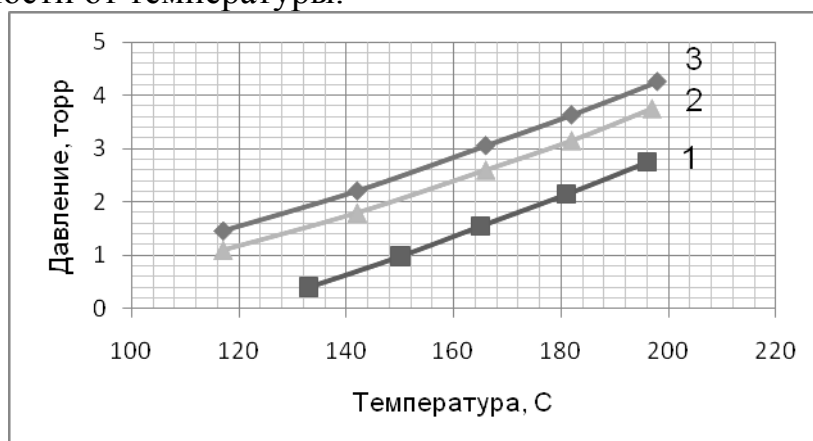


Рис. Поведение давления НВr: 1 – в вакууме, 2 – в атмосфере 30 Торр Не, 3 – в атмосфере 60 Торр Не в зависимости от температуры.

Пологая кривая и некоторая инерционность позволяет избегать резких изменений давления при кратковременных бросках температуры. Показано, что диапазон рабочих давлений можно менять, изменяя количество поглощенного цеолитом НВr.

- [1] Андриенко О.С., Суханов В.Б., Троицкий В.О., Шестаков Д.Ю., Шиянов Д.В. Патент РФ № 2295811. МПК 7 H01S 3/22. // Бюл. 2007. № 8.

ТРЕХВОЛНОВЫЙ ИОННЫЙ ЛАЗЕР НА ПАРАХ КАДМИЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ В СЕГМЕНТИРОВАННОЙ МЕТАЛЛО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РАЗРЯДНОЙ ТРУБКЕ

Г.Д. Чеботарев, А.А. Фесенко, Е.Л. Латуш
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Проведены детальные исследования ионного лазера на парах кадмия с возбуждением в продольной сегментированной металло-диэлектрической разрядной трубке с протяженными металлическими сегментами (имеющими длину 2,5–7,5 см и внутренний диаметр 0,3 см).

На основе анализа результатов экспериментальных исследований спектрально-временных характеристик «сегментированного» разряда установлено наличие избытка быстрых электронов (свойственного разряду с полым катодом (РПК)) по сравнению с продольным разрядом, что в сочетании с имеющимися свойствами продольного разряда (устойчивость разряда, простота конструкции разрядной трубки, возможность катафорезного ввода паров металлов) делает «сегментированный» разряд перспективным для возбуждения активных сред ЛПМ с накачкой ударами второго рода, в частности, ионного лазера на парах кадмия. Показано, что при разряде в сегментированной трубке в качестве характеристики, определяющей степень проявления эффекта полого катода, может быть использована зависимость глубины проникновения плазмы от давления буферного газа и внутреннего диаметра сегментов, при этом максимум глубины проникновения плазмы примерно соответствует условиям начала проявления эффекта полого катода, а наибольшая степень его проявления соответствует растущей ветви зависимости глубины проникновения плазмы от давления.

Получена и детально исследована импульсно-периодическая и квазинепрерывная трехволновая сине-зеленая генерация на переходах иона кадмия ($\lambda=441,6$; 533,7 и 537,8 нм CdII), а также непрерывная генерация на синей линии иона кадмия ($\lambda=441,6$ нм CdII). Типичные осциллограммы импульсов тока разряда, спонтанного излучения и генерации на переходах CdII при возбуждении разряда в сегментированной трубке короткими импульсами тока (~ 1 мкс) приведены на рис. 1. В спонтанном излучении длительное послесвечение обусловлено накачкой ударами второго рода (реакцией Пеннинга и перезарядкой), а кратковременный всплеск интенсивности в раннем послесвечении на зеленых линиях CdII – рекомбинационной накачкой. Генерация на переходах CdII осуществлялась во время импульсов тока (что свойственно РПК) при оптимальных токах разряда ~ 10 – 20 А. При возбуждении разряда в сегментированной трубке длинными импульсами тока (до ~ 30 мкс) была получена квазинепрерывная на переходах CdII при оптимальных токах разряда ~ 1 А. Длительность импульсов генерации достигала ~ 10 – 20 мкс. Типичные осциллограммы импульсов тока разряда и генерации на переходах CdII в квазинепрерывном режиме показаны на рис. 2.

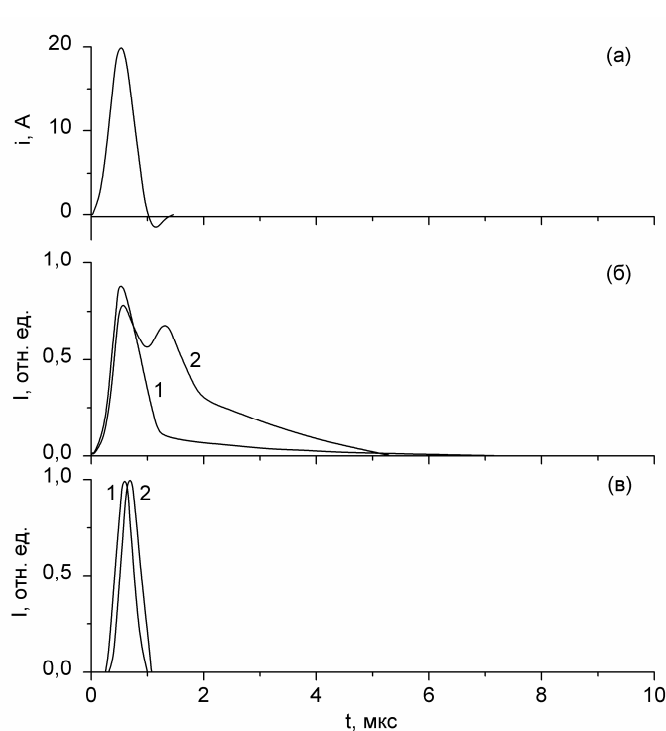


Рис. 1. Типичные осциллограммы импульсов тока (а), спонтанного излучения (б) и генерации (в) на переходах иона кадмия ($\lambda=441,6$ нм CdII – кривые 1; $\lambda=533,7$ и $537,8$ нм CdII – кривые 2) в «сегментированном» разряде при возбуждении короткими импульсами тока.

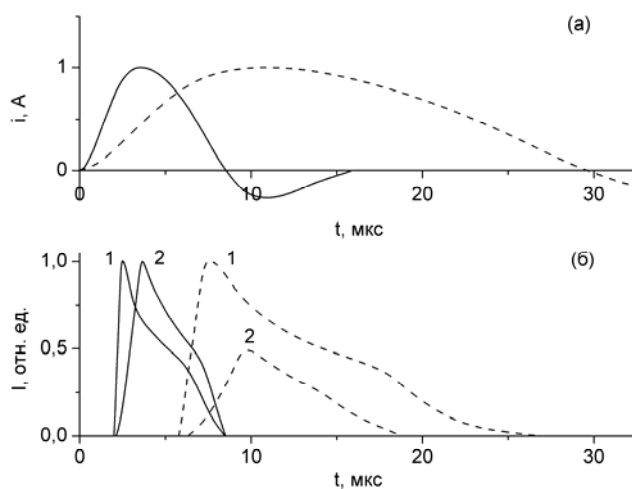


Рис. 2. Типичные осциллограммы импульсов тока (а) и генерации (б) на переходах иона кадмия ($\lambda=441,6$ нм CdII – кривые 1; $\lambda=533,7$ и $537,8$ нм CdII – кривые 2) в «сегментированном» разряде при возбуждении длинными импульсами тока.

В экспериментах достигнуты относительно высокие значения ненасыщенного коэффициента усиления (4 дБ/м для $\lambda=441,6$ нм CdII и 2 дБ/м для $\lambda=533,7$ и $537,8$ нм CdII), превышающие коэффициент усиления в продольном разряде, что свидетельствует об эффективной накачке уровней CdII ударами второго рода в «сегментированном» разряде.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТРАКЦИИ ОБЪЕМНОГО РАЗРЯДА В ГЕЛИИ

Г.Д. Чеботарев, О.О. Пруцаков, Е.Л. Латуш
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

При протекании тока в инертных газах при низких давлениях положительный столб разряда обычно полностью заполняет сечение разрядной трубки. Однако при высоких давлениях наблюдается явление контракции разряда [1, 2]. При этом параметры плазмы испытывают скачкообразные изменения, сопровождающиеся явлениями гистерезиса, а именно, переход в контрагированное состояние (с ростом тока) и обратный переход (при уменьшении тока) происходят при различных значениях параметров разряда [3].

С практической точки зрения исследование контракции является важным, так как она ограничивает диапазон условий горения однородного тлеющего разряда, используемого для создания активных сред лазеров. Неустойчивость разрядов является основной проблемой возбуждения почти всех мощных газоразрядных лазеров. В настоящей работе построена математическая модель стационарного объемного разряда высокого давления в гелии, позволяющая описать основные закономерности контракции разряда высокого давления (≥ 100 Тор). При этих условиях в первом приближении можно пренебречь диффузией, что позволяет существенно упростить расчеты.

Исходными данными при расчетах по модели являлись: давление гелия, радиус разрядной трубки, температура стенки трубки и концентрация электронов на оси. Результаты численных расчетов представлены на рис. 1-3.

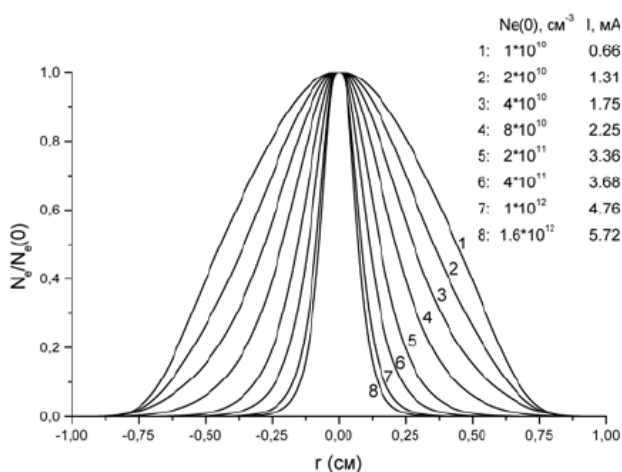


Рис. 1. Радиальные профили нормированной концентрации электронов при различных токах разряда.

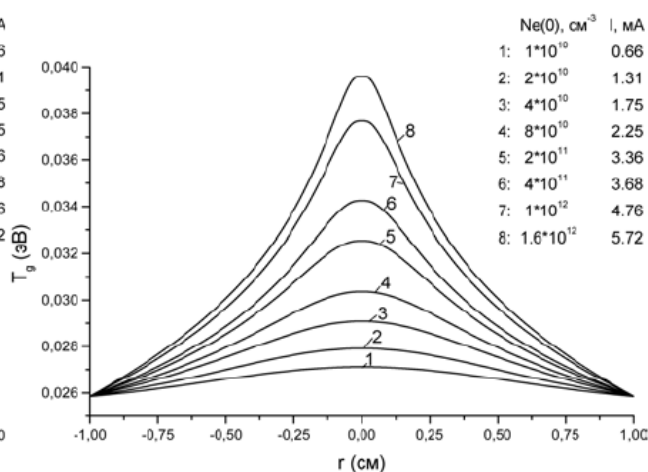


Рис. 2. Радиальные профили температуры газа при различных токах разряда.

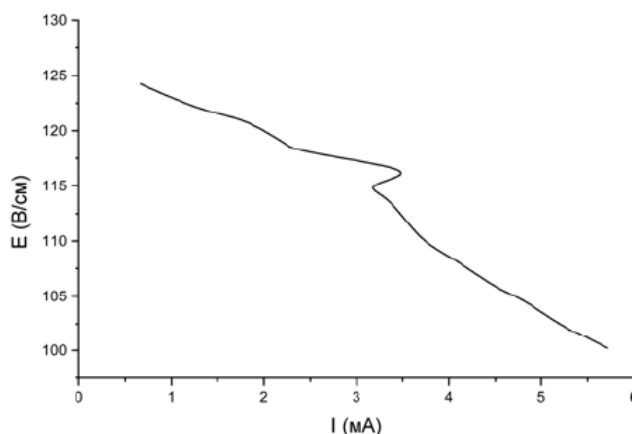


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика разряда.

Рис. 1-2, где изображены радиальные профили концентрации электронов и температуры газа, иллюстрируют переход разряда в контрагированное состояние при увеличении тока для давления гелия 300 Тор и радиуса трубки 1 см, при температуре стенки 300 К. Концентрация электронов на оси изменяется в диапазоне от 10^{10} до 10^{12} см $^{-3}$. При токе разряда порядка 3,3 мА происходит контракция разряда, при дальнейшем увеличении тока сжатие разряда продолжается, но с меньшей скоростью.

Переход разряда в контрагированное состояние сопровождается скачкообразным изменением его параметров, что хорошо иллюстрирует рис. 3, на котором изображена зависимость напряженности электрического поля от тока разряда. Из рисунка видно, что в области критического тока имеет место гистерезис. Причем вольт-амперная характеристика — падающая и имеет вид Z-образной кривой, что является типичным для процесса контракции и наблюдается экспериментально [3].

На основе анализа результатов численного моделирования показано, что одним из дестабилизирующих разряд механизмов является ступенчатая ионизация, а рекомбинация является стабилизирующим фактором.

- [1] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
- [2] Велихов Е.П., Ковалев А.С., Рахимов А.Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Наука, 1987.
- [3] Голубовский Ю.Б., Зоннебург Р. // ЖТФ. 1979. Т.49, №2. С.295–301.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРОВ С НАРАБОТКОЙ ПАРОВ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ В ОТПАЯННЫХ ГРТ

Д.В. Шиянов^{1,2}, В.Б. Суханов^{1,2}

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск*

²*НИИ Томский политехнический университет, г. Томск*

В [1] был предложен способ получения генерации в парах металлов, который получил название “лазеры на парах галогенидов металлов с внутренним реактором”. Он основан на взаимодействии в разряде галогена (Br_2 , Cl_2 , I_2) с кусочками металла, расположенными в канале газоразрядной трубки (ГРТ) с дальнейшей диссоциацией образованного галогенида металла и возбуждением рабочих атомов. Отличительная особенность такого типа лазеров от гибридных заключается в том, что все процессы происходят в отпаянной ГРТ и используется галоген в чистом виде. В настоящей работе продолжены исследования характеристик таких систем в парах марганца и меди.

Проведены сравнительные исследования характеристик лазеров на парах иодида, хлорида и бромиды меди с внутренним реактором в ГРТ диаметром 2 см, длиной 50 см. Кроме этого, сравнивались характеристики таких лазеров с внутренними (продольный тлеющий разряд) и внешними электродами (разряд емкостного типа). Показано, что при использовании этих галогенов энергетические характеристики лазеров идентичны ~3 Вт. Однако введение в активную среду добавок водорода, галогеноводородов увеличивает КПД и мощность излучения лазеров на парах хлорида и бромиды меди до 6-8 Вт. В лазере на парах иодида меди эффект влияния водорода отрицательный, что вероятнее всего связано с неустойчивостью молекулы HI , которая должна снижать предимпульсную концентрацию электронов.

Генерационные характеристики лазера на парах галогенида марганца с внутренним реактором измерялись в ГРТ (диаметр 2 см, длина 50 см) с емкостной накачкой – хлорид марганца и традиционной накачкой – иодид марганца. Суммарная мощность излучения (ИК + видимая область спектра) таких систем составила ~1 Вт.

- [1] Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Ткаченко Н.Ю. Лазер на парах иодида меди с внутренним реактором. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т.25. С.721-726.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗРЯДНОМ КОНТУРЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ

Н.А. Юдин, М.Р. Третьякова, Н.Н. Юдин

*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

В докладе рассмотрено влияние расположения электродов в газоразрядной трубке (ГРТ) на электрофизические процессы в разрядном контуре. Определены – эквивалентная схема ГРТ и механизм ее трансформации в зависимости от расположения электродов в холодных буферных зонах или в горячей зоне разрядного канала. Рассмотрен механизм развития пробоя в холодных зонах ГРТ. Показано, что пробой в концевых зонах разрядного канала ГРТ можно рассматривать как момент времени, начиная с которого происходит перераспределение напряжения между концевыми зонами ГРТ и активной средой в пользу последней. Показано, что высокая скорость релаксации метастабильных состояний атома меди в ближнем послесвечении обусловлена ионизационным охлаждением электронов в активной среде. При этом диссипация энергии, запасенная в реактивных составляющих импеданса разрядного контура, в этот период времени осуществляется в холодных буферных зонах. Процесс диссипации энергии в холодных буферных зонах осуществляется до момента, когда сопротивление плазмы в концевых зонах разрядного канала достигнет значения, начиная с которого проходные емкостные составляющие ГРТ шунтируют холодные буферные зоны. В результате возникает высокочастотный контур, и дальнейшая диссипация энергии осуществляется в активной среде. Это снижает скорость релаксации метастабильных состояний в межимпульсный период и определяет характерный излом во временном ходе населенности метастабильных состояний, определяющий момент возникновения высокочастотного контура.

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФFUЗНОГО РАЗРЯДА В АКТИВНЫХ СРЕДАХ ЛАЗЕРОВ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

Н.А. Юдин, И.Д. Костыря, Ю.П. Полунин, Н.Н. Юдин
*Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

Исследуя энергетические характеристики лазера на парах стронция, нами было обнаружено, что разряд проходит три стадии в процессе разогрева газоразрядной трубки (ГРТ) (см. рис. 1), когда электроды в ГРТ расположены в холодных буферных зонах на расстоянии $\leq 1-3$ мм от разрядного канала. Наблюдается контрагированный разряд (рис. 1а) в начальный период разогрева. Расконтракция разряда – с появлением паров металла в активном объеме ГРТ (рис. 1б). Диффузный разряд – когда прогревается разрядный канал ГРТ (рис. 1с).

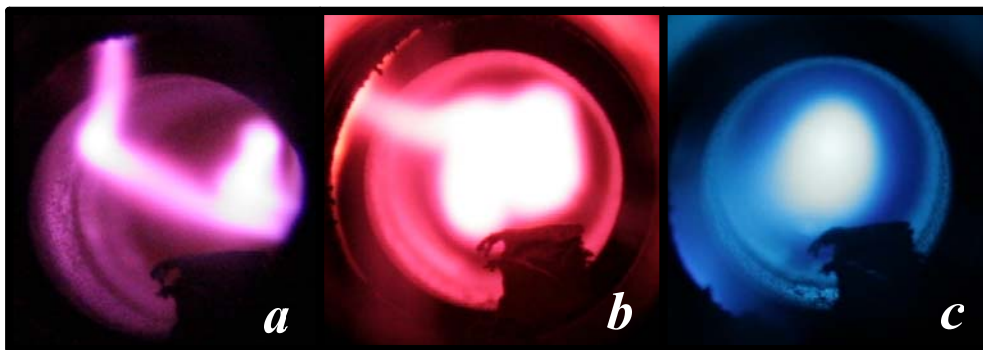


Рис.1. Формирование диффузного разряда при разогреве разрядного канала ГРТ до рабочей температуры.

В докладе рассмотрены условия, определяющие радиальную устойчивость импульсно-периодического разряда ЛПМ, обсуждается возможная модель формирования диффузного разряда и представлены результаты измерений электрофизических характеристик разряда, подтверждающие правомерность данной модели. Показано, что диффузный разряд формируется, когда в холодных буферных зонах возникает затрудненный разряд в процессе зарядки емкостных составляющих от накопительного конденсатора. В активной среде в этих условиях инициируется поперечный ВЧ-разряд, обеспечивающий эффективную накачку активной среды Sr-лазера, и устраняет условия для возникновения положительной обратной связи, усиливающей локальные флуктуации электронной плотности в разряде.

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

В.Г. Яржемский^{1,4}, М.А. Казарян^{2,5}, Е.А. Морозова³,
В.И. Сачков⁶, Э.Н. Муравьев⁷

¹*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва*

²*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва*

³*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

⁴*Московский Физико-технический Институт, г. Долгопрудный Моск. обл.*

⁵*Национальная Академия наук Республики Армения*

⁶*СФТИ ТГУ имени акад. В.Д. Кузнецова, г. Томск*

⁷*ОАО Научно-исследовательский институт технического стекла, г. Москва*

На основании неэмпирического расчета кластера Au₃₂ установлено, что при возбуждении наночастиц золота фотонами с энергией, превышающей минимальную энергетическую щель между занятыми и вакантными состояниями, возникают возбужденные состояния, из которых возможен только квадрупольный переход в основное состояние. Обсуждается возможная роль таких переходов в генерации наноразмерного лазера, получившего название спазер.