

УДК 541.44

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФАЗ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ V—Ru—H

В. Е. Антонов, И. Т. Белаи, Е. Г. Понятовский,
В. И. Ращупкин, И. М. Романенко

Изучены состав, кристаллическая структура и проведены измерения температуры T_c сверхпроводящего перехода для фаз, образующихся в системах V—Ru—H на базе сплавов V—Ru с 10, 18.5 и 34 ат.% Ru при 300 °С и давлениях водорода до 70 кбар. В системе $V_{90}Ru_{10}$ —H обнаружена фаза с атомным отношением H/Me \approx 1 и ГЦК подрешеткой металла, обладающая $T_c \approx 3.0$ К, в то время как все исходные сплавы V—Ru и другие полученные фазы внедрения водорода на их основе сверхпроводимостью при $T \geq 2$ К не обладали.

В данной работе мы продолжили поиск новых материалов, гидрирование которых приводит к образованию фаз с более высокими значениями температуры T_c сверхпроводящего перехода. Состояние проблемы и постановка задачи исследования были совсем недавно сформулированы в [1], поэтому здесь представляется полезным ограничиться лишь следующим замечанием.

Ввиду отсутствия теорий или эмпирических правил, позволяющих вести поиск новых сверхпроводящих гидридов целенаправленно, мы решили воспользоваться методом аналогий. Ранее было показано [2], что электролитическое насыщение водородом сплавов Nb—Ru с 20, 25 и 33 ат.% Ru вызывает повышение значений их T_c с ≤ 0.25 до $\approx 2. . . 5$ К. В [1] мы исследовали полученные при высоких давлениях водорода твердые растворы водорода в аналоге сплавов Nb—Ru—сплавах Ta—Ru с 22.6 и 31 ат.% Ru, и в обеих изучавшихся системах Ta—Ru—H обнаружили фазы с атомным отношением водород/металл $n \approx 1$ на базе ромбически искаженной ГПУ решетки металла, обладающие $T_c \approx 3$ К, тогда как у исходных сплавов Ta—Ru значения T_c были ниже 2 К. В настоящей работе изучены растворы водорода в других сплавах-аналогах, V—Ru, содержащих 10, 18.5 и 34 ат.% Ru (ванадий, ниобий и тантал расположены друг под другом в таблице Менделеева).

1. Приготовление образцов и методика эксперимента

Для изготовления сплавов V—Ru навески порошков (~ 40 меш) электролитического ванадия и рутения (99.998 %) смешивали между собой, спрессовывали в таблетки при давлении 20 кбар и комнатной температуре, а затем переплавляли в индукционной печи во взвешенном состоянии в атмосфере аргона. Полученные слитки отжигали при 1200 °С в вакууме $\sim 10^{-6}$ Тор в течение 24 ч с последующим охлаждением вместе с печью. Образцы вырезали из слитков на электроискровом станке, шлифовывали с них поврежденный поверхностный слой ≈ 0.05 мм, после чего дополнительно снимали слой ≈ 0.03 мм электрополировкой в H_2SO_4 . Окончательные размеры образцов составляли $\approx 3 \times 3 \times 0.3$ мм.

Содержание рутения в исходных смесях порошков равнялось 10, 18 и 33 ат.%. Химический анализ образцов, выполненный на микроанализаторе САМЕВАХ—МВХ с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром Link 860—500, дал для составов полученных сплавов V—Ru значения соответственно 10, 18.5 и 34 ± 0.4 ат.% Ru, что свидетельствует о некотором обеднении сплавов ванадием в процессе плавки и гомогенизационного отжига.

Гидрирование образцов производили путем выдержки в атмосфере молекулярного водорода при 300 °С и давлениях до 70 кбар в течение 24 ч с последующей «закалкой» под давлением до ≈ -180 °С, методика описана в [3] (предварительные эксперименты показали, что содержание водорода в образцах и их фазовый состав при выдержках свыше 12 ч и вплоть до 48 ч практически не изменяются). Погрешность определения давления водорода не превышала ± 5 %, температура в процессе выдержки поддерживалась постоянной с точностью ± 7 °С. Для предотвращения потерь водорода из полученных образцов V—Ru—H при атмосферном давлении их хранили в жидком азоте.

При атмосферном давлении устойчивость образцов V—Ru—H относительно распада на металл и молекулярный водород понижалась с ростом концентрации рутения в исходных сплавах V—Ru, а для каждого из гидрировавшихся сплавов — с ростом содержания водорода. В частности, при комнатной температуре выделения водорода из образцов $V_{90}Ru_{10}$ —H с $n \leq 0.5$ не было обнаружено после выдержки в течение двух недель, а из образцов $V_{66}Ru_{34}$ —H с $n > 1$ основное количество водорода выделялось менее чем за минуту. Хранение в жидком азоте в течение нескольких месяцев не приводило к потерям водорода для всех исследовавшихся образцов V—Ru—H.

Содержание водорода в образцах определялось с относительной погрешностью ± 5 % по количеству водорода, выделявшегося в процессе их термического разложения при температурах до 500 °С, метод описан в [1]. Рентгеновское исследование образцов проводили при $T = 83$ К фотометодом на дифрактометре ДРОН-2.0 с использованием излучения CuK_{α} (как исходные сплавы V—Ru, так и растворы водорода на их основе были поликристаллическими). Значения T_c определяли индуктивным методом при $T \geq 2$ К.

2. Экспериментальные результаты и обсуждение

Рентгеновское исследование показало, что при атмосферном давлении и 83 К исходные образцы сплавов V—Ru с 10 и 18.5 ат.% Ru имеют неупорядоченную ОЦК (α) структуру, а сплава с 34 ат.% Ru — упорядоченную структуру (α'') типа CsCl. Как типы структур, так и значения параметров решеток (см. строки для $n=0$ в таблице) согласуются с литературными данными [4].

Сверхпроводящие свойства сплавов V—Ru в исследуемом диапазоне концентраций ранее не изучались. Оценки по методу Мидемы [5] с использованием приведенных в [5] необходимых параметров показывают, что у сплавов V—Ru с 10, 18.5 и 34 ат.% Ru значения T_c не должны превышать соответственно ≈ 1.6 , 0.2 и 0.004 К. Наши измерения показали, что все три сплава V—Ru не обладают сверхпроводимостью при $T \geq 2$ К.

Основные результаты исследования твердых растворов V—Ru—H, выполненного в настоящей работе, представлены на рис. 1—3 и в таблице. Исследование было начато с изучения растворов на базе сплавов $V_{81.5}Ru_{18.5}$ и $V_{66}Ru_{34}$ с концентрациями рутения, близкими к граничным для получения сверхпроводящих гидридов у сплавов—аналогов Nb—Ru [2] и Ta—Ru [1].

Растворы $V_{81.5}Ru_{18.5}$ —H и $V_{66}Ru_{34}$ —H. Как видно из рис. 1, а, б, при 300 °С повышение давления водорода до ≈ 8 кбар приводит к монотонному возрастанию равновесной концентрации водорода в α -сплаве

$V_{81.5}Ru_{18.5}$ до $n \approx 0.17$, сопровождающемуся возрастанием параметра ОЦК решетки сплава. При более высоких давлениях водорода в системе

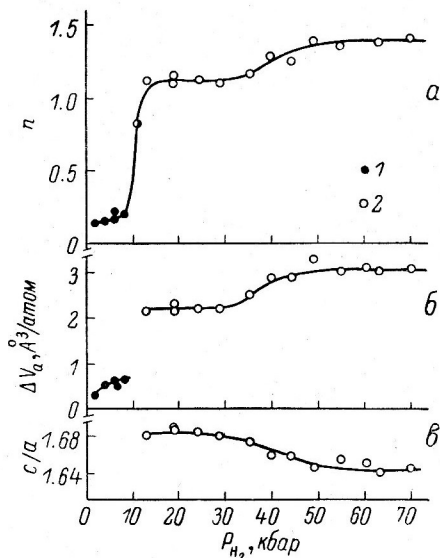


Рис. 1. Значения n содержания водорода (а), увеличения объема $\Delta V_a = V_a(n) - V_a(0)$, приходящегося на атом металла, (б) и отношения c/a параметров ГПУ ячейки металла у ϵ -растворов (в) для твердых растворов $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$, полученных выдержками в течение 24 ч при 300 °С и давлениях водорода, указанных по оси абсцисс.

1 — данные для α -растворов; 2 — для ϵ -растворов; значки, зачерненные наполовину, относятся к двухфазным ($\alpha + \epsilon$) образцам.

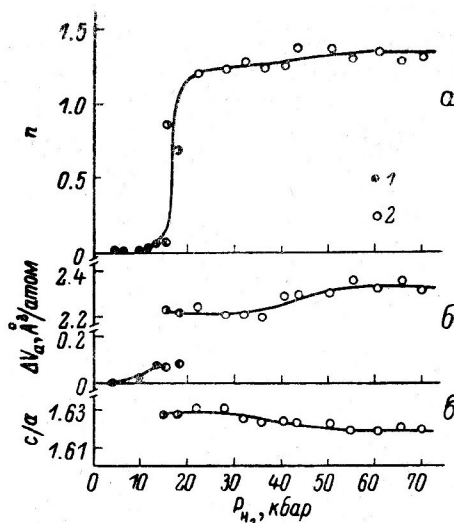


Рис. 2. Результаты исследования твердых растворов $V_{66}Ru_{34}-H$.

1 — данные для α^{or} -растворов; остальные обозначения, как на рис. 1.

$V_{81.5}Ru_{18.5}-H$ происходит полиморфное превращение и образуются растворы с $n > 1$, имеющие при атмосферном давлении и $T = 83$ К ГПУ решетку металла (ϵ -растворы). Наиболее сильное изменение всех приведенных на рис. 1 зависимостей для ϵ -растворов приходится на интервал

30 ... 50 кбар. Наблюдаемое поведение свойств ϵ -растворов в системе $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$ очень напоминает закритическое для аморфного превращения I рода $\epsilon_1 \rightleftharpoons \epsilon_2$, закончившегося в критической точке при $P_{H_2} \sim 40$ кбар и $T \ll 300$ °С (хотя, безусловно, возможны и другие причины наличия

Состав, давление образования при 300 °С, структура и параметры металлической подрешетки при атмосферном давлении и $T = 83$ К для твердых растворов V-Ru-H

Ат.% Ru	n	P_{H_2} , кбар	Структура	a , Å	c , Å	c/a	V_a , Å³/атом
10	0	—	α	3.011 ± 0.002	—	—	13.65 ± 0.02
	0.5	8	β	2.996 ± 0.002	3.302 ± 0.003	1.102 ± 0.001	14.82 ± 0.02
	1.04	от ≈ 11 до ≈ 32	γ_1	3.971 ± 0.004	—	—	15.65 ± 0.05
	2.0	≈ 38	γ_2	4.265 ± 0.005	—	—	19.40 ± 0.007
18.5	0	—	α	3.005 ± 0.002	—	—	13.57 ± 0.02
	1.12	13	ϵ	2.787 ± 0.003	4.688 ± 0.005	1.682 ± 0.003	15.77 ± 0.04
	1.36	70	ϵ	2.858 ± 0.003	4.696 ± 0.005	1.643 ± 0.003	16.61 ± 0.04
34	0	—	α^{or}	2.995 ± 0.002	—	—	13.43 ± 0.02
	1.24	24	ϵ	2.810 ± 0.003	4.577 ± 0.005	1.629 ± 0.003	15.65 ± 0.04
	1.34	70	ϵ	2.822 ± 0.003	4.572 ± 0.005	1.620 ± 0.003	15.77 ± 0.04

Примечание. α — ОЦК (объем, приходящийся на атом металла, $V_a = a^3/2$); α^{or} — типа CsCl ($V_a = a^3/2$); β — типа β - V_2H (приведены значения a_0 и c_0 тетрагональной псевдоячейки, $V_a = a_0^2 c_0/2$); γ — ГЦК ($V_a = a^3/4$); ϵ — ГПУ ($V_a = (\sqrt{3}/4) a^2 c$).

аномалий на изученных зависимостях, например, фазовые превращения в водородной подрешетке: перераспределение атомов водорода между окта- и тетраэдрическими междуузлиями, упорядочение и т. д.).

Зависимость свойств растворов, образующихся в системе $V_{66}Ru_{34}-H$, от давления их синтеза оказалась качественно той же, что и в системе $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$. Как видно из рис. 2, при давлениях до ≈ 13 кбар в системе $V_{66}Ru_{34}-H$ монотонно возрастает, достигая ≈ 0.04 , концентрация водо-

рода в растворах на базе α^{or} -решетки сплава $V_{66}Ru_{34}$, а при более высоких давлениях образуются ϵ -растворы с $n > 1$; на зависимостях ΔV_a (увеличения объема, приходящегося на атом металла, при внедрении в сплав водорода) и c/a (отношения параметров ГПУ ячейки металлической подрешетки) для этих ϵ -растворов (рис. 2, б, в)

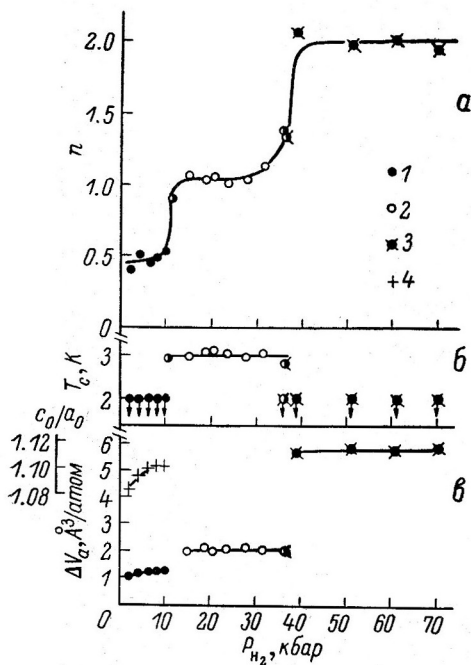


Рис. 3. Значения n содержания водорода (а), температуры T_c сверхпроводящего перехода (б), увеличения объема ΔV_a , приходящегося на атом металла, и отношения c/a_0 параметров тетрагональной псевдоячейки у β -растворов (в) для твердых растворов $V_{90}Ru_{10}-H$, полученных выдержками в течение 24 ч при $300^\circ C$ и давлениях водорода, указанных по оси абсцисс.

1 — данные для β -растворов; 2 — для γ_1 -растворов; 3 — для γ_2 -растворов; 4 — значения c_0/a_0 для β -растворов; значки, зачерненные наполовину, относятся к двухфазным образцам. Стрелки у значков на рис. 3, б показывают, что соответствующие образцы не обладали сверхпроводимостью при $T \geq 2$ К.

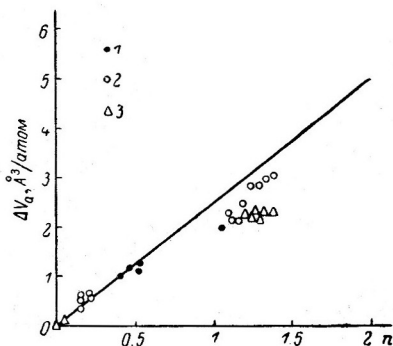


Рис. 4. Значения $\Delta V_a(n)$ увеличения объема, приходящегося на атом металла, как функция концентрации водорода n для твердых растворов водорода в сплавах V—Ru с 10 (1), 18,5 (2) и 34 ат.% Ru (3); сплошная линия — см. текст.

можно заметить и следы аномалий, наблюдавшейся для ϵ -растворов $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$ (рис. 1).

У ϵ -растворов $V_{66}Ru_{34}-H$ и $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$ есть и еще одна общая особенность: ширина дифракционных линий на рентгенограммах

этих растворов немонотонно изменяется с углом отражения, что, по всей вероятности, вызвано наличием небольших искажений у их ГПУ металлических подрешеток. Отметим, что наличие таких искажений сближает ϵ -растворы V—Ru—H и с исследованными ранее сверхпроводящими ϵ' -растворами Ta—Ru—H [1], обладающими ромбически искаженными ГПУ подрешетками металла.

Касаясь подобия эффектов, наблюдавшихся при изучении систем V—Ru—H и Ta—Ru—H [1], интересно отметить также следующее. В случае сплава $V_{66}Ru_{34}$, как и сплава $Ta_{69}Ru_{31}$, практически полное (остаток $\delta n < 0.01$) удаление водорода из образцов с $n \geq 1$ после отжига в вакууме при $500^\circ C$ приводило к возврату параметра их кубической решетки к исходному значению, но вместо упорядоченной структуры типа CsCl решетка приобретает неупорядоченную ОЦК структуру. Сверхструктурные рефлексы, соответствующие упорядочению решетки по типу

CsCl, исчезали с рентгенограмм обоих сплавов $V_{66}Ru_{34}$ и $Ta_{69}Ru_{31}$ и после механической шлифовки их поверхности при комнатной температуре. Причина наблюдаемых эффектов заключается, вероятно, в том, что структура типа CsCl при $T \leq 500^\circ\text{C}$ не является для данных сплавов термодинамически равновесной; с таким выводом согласуются результаты экстраполяции к этим температурам линий фазовых превращений в системе $V-Ru$, изученных в [4] при $T \geq 1000^\circ\text{C}$ (данные о концентрационных зависимостях температур соответствующих превращений в системе $Ta-Ru$ в литературе отсутствуют).

Итак, системы $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$ и $V_{66}Ru_{34}-H$ во многом оказались аналогами систем $Ta-Ru-H$, исследованных в [1]. Однако, в то время как ϵ' -растворы $Ta-Ru-H$ в [1] были сверхпроводниками с $T_c \sim 3\text{ K}$, ни один из образцов $V-Ru-H$ на базе сплавов $V-Ru$ с 18.5 и 34 ат. % Ru сверхпроводимостью при $T \geq 2\text{ K}$ не обладал. Поскольку значения T_c гидридов повышались с уменьшением концентрации рутения как в сплавах $Nb-Ru$ [2], так и $Ta-Ru$ [1], для дальнейшего поиска сверхпроводящих гидридов в системах $V-Ru-H$ также резонно было обратиться к сплавам с меньшей концентрацией рутения.

Растворы $V_{90}Ru_{10}-H$. Фазы, образующиеся при 300°C в системе $V_{90}Ru_{10}-H$, оказались иными, чем в системах $V_{81.5}Ru_{18.5}-H$ и $V_{66}Ru_{34}-H$, (рис. 3 и таблица).

Содержание водорода в образцах, получаемых выдержками при $1 \leq P_{H_2} \leq 10$ кбар, было на уровне $n \approx 0.5$. Дифрактограммы этих образцов, снятые при атмосферном давлении и $T=83\text{ K}$, могут быть проиндексированы на базе объемноцентрированной тетрагональной (ОЦТ) ячейки; соответствующие растворы далее обозначаются буквой β . При давлениях водорода от ≈ 11 до ≈ 32 кбар образуются растворы с ГЦК подрешеткой металла и $n \approx 1$ (γ_1 -растворы), при $P_{H_2} \geq 38$ кбар — растворы, также обладающие ГЦК подрешеткой металла, но уже с $n \approx 2$ (γ_2 -растворы). Как видно из рис. 3 а, в, в пределах интервалов образования γ_1 - и γ_2 -растворов их составы по водороду и значения параметров ГЦК металлических подрешеток не зависят от давления синтеза.

Значения ΔV_a и отношения c_a/a_0 ОЦТ ячейки β -растворов $V_{90}Ru_{10}-H$ хорошо согласуются с литературными данными [6, 7] для ОЦТ псевдо-ячеек β -растворов $V-H$ с $n \approx 0.5$ (истинная сингония β -растворов $V-H$ моноклинная, пространственная группа $B2/m$ [7]). В этой связи представляется весьма вероятным, что структура β -растворов $V_{90}Ru_{10}-H$ идентична структуре β -фазы в системе $V-H$. Значение ΔV_a для γ_2 -фазы в системе $V_{90}Ru_{10}-H$ на 6...15 % превышает приводимые в литературе [7, 8] значения ΔV_a для γ -фазы VH_2 с ГЦК решеткой металла (структура типа CaF_2). Тем не менее (особенно учитывая значительный разброс в значениях ΔV_a для $\gamma-VH_2$, указываемых разными авторами), можно допустить, что и эти фазы изоморфны. Фаза γ_1 в системе $V_{90}Ru_{10}-H$ аналога среди фаз в системе $V-H$ не имеет.

Дальнейшие измерения показали, что в системе $V_{90}Ru_{10}-H$ именно γ_1 -фаза и только она обладает сверхпроводимостью при $T \geq 2\text{ K}$. Температурный интервал сверхпроводящего перехода в γ_1 -образцах $V_{90}Ru_{10}-H$ составлял около 0.3 K ; положения середины интервала нанесены на рис. 3, б в качестве значений T_c . Из рис. 3, б видно, что в пределах экспериментальной погрешности значения T_c не зависят от давления водорода, при котором γ_1 -образцы были синтезированы; среднее значение $T_c \approx 3.0\text{ K}$.

Таким образом, метод аналогий успешно зарекомендовал себя не только в случае растворов $Ta-Ru-H$ [1], но и $V-Ru-H$: добавка в ванадий 10 ат. % рутения позволила получить новую гидридную фазу с $n \approx 1$ на базе ГЦК решетки металла, являющуюся сверхпроводником с более высоким значением T_c , чем у исходного сплава без водорода (отметим, кстати, что ни одна из гидридных фаз в системе $V-H$ сверхпроводимостью при $T > 2\text{ K}$ не обладает, в то время как у ванадия $T_c \approx 5.3\text{ K}$ [9]).

Целесообразно представить данные рентгеновского исследования различных фаз в системах V—Ru—H также в виде зависимостей $\Delta V_a(n)$ (рис. 4). Дело в том, что для большого числа переходных металлов и их сплавов зависимости $\Delta V_a(n)$ в широких интервалах концентраций водорода близки к линейным и их наклоны $(\partial/\partial n) \Delta V_a(n)$ довольно слабо отличаются друг от друга [6]. В частности, согласно [6], значения $\Delta V_a(n)$ для всех фаз, образующихся в системе V—H, удовлетворительно описываются линейной зависимостью с наклоном $\approx 2.5 \text{ \AA}^3/\text{атом H}$, изображенной на рис. 4 сплошной линией.

В результате исследований, проведенных в последние годы, круг изучавшихся растворов металл—водород значительно расширился и выяснилось, что в целом ряде случаев наблюдаются существенные отклонения от такой «универсальной» зависимости $\Delta V_a(n)$ [10]. Как видно из рис. 4, при $n \geq 1$ значения $\Delta V_a(n)$ заметно отклоняются от задаваемых сплошной линией и у изученных в данной работе растворов V—Ru—H (нелинейный характер изменения ΔV_a при образовании фаз γ_1 с $n \approx 1$ и γ_2 с $n \approx 2$ в системе $V_{90}Ru_{10}$ —H хорошо виден также и из рис. 3, в). Тем не менее накопление информации о зависимостях $\Delta V_a(n)$ для различных фаз представляется весьма полезным, так как из всех величин, получаемых при структурных исследованиях, именно значения $\Delta V_a(n)$ наиболее слабо зависят от типа гидрируемого металла [6], и, исходя из значений ΔV_a , можно по меньшей мере полуколичественно оценить состав по водороду у впервые получаемых гидридных фаз. Такие оценки особенно необходимы при изучении гидридов, синтезируемых в неравновесных условиях (например, методами электрохимии), когда получение однофазных образцов зачастую практически невозможно.

Результаты изучения систем Ta—Ru—H в [1] и V—Ru—H в настоящей работе позволяют дать, хотя и в очень предположительной форме, некоторые рецепты для дальнейшего поиска новых сверхпроводящих гидридов.

К настоящему времени сверхпроводимость обнаружена в гидридах сплавов ниобия не только с рутением [2], но и с родием и палладием [9], т. е. со всеми $4d$ -металлами VIII группы. Факт обнаружения сверхпроводящих гидридов также и у сплавов Ta—Ru и V—Ru, т. е. теперь уже у сплавов каждого из d -металлов V группы с рутением, позволяет надеяться, что сверхпроводимость у гидридов сплавов переходных металлов явление отнюдь не исключительное, и, исходя из аналогии в структуре и свойствах, выделить группу сплавов переходных металлов V группы с $4d$ - и $5d$ -металлами VIII группы в качестве перспективных объектов для синтеза таких гидридов.

Относительно систем Nb—Ru—H, Nb—Rh—H и Nb—Pd—H пока нет полной ясности в вопросе о кристаллических структурах сверхпроводящих гидридов и их составах по водороду. В системах Ta—Ru—H и V—Ru—H сверхпроводниками являются гидриды на базе плотноупакованных решеток металла соответственно ГПУ (слегка искаженной) и ГЦК с $n \approx 1$. Еще один известный сверхпроводящий гидрид переходного металла—гидрид палладия, также имеет плотноупакованную металлическую подрешетку (ГЦК), а его T_c достигает максимального значения при $n \approx 1$ [9]. Опять-таки основываясь на методе аналогий при дальнейшем поиске сверхпроводящих гидридов у переходных металлов и их сплавов имеет смысл в первую очередь обращать внимание на фазы с $n \approx 1$ на базе металлических решеток с плотноупакованными структурами.

Авторы благодарят А. И. Амелина и В. А. Завьялову за помощь в подготовке экспериментов, а также В. Г. Глебовского за предоставление образцов V—Ru.

Л и т е р а т у р а

- [1] Антонов В. Е., Антонова Т. Е., Белаш И. Т., Малышев В. Ю., Полятовский Е. Г., Рацулкин В. И. ФТТ, 1986, т. 28, № 8, с. 2352—2357.
 [2] Robbins C. G., Ishikawa M., Treyvaud A., Muller J. Sol. St. Commun., 1975, vol. 17, № 7, p. 903—906.

- [3] *Понятовский Е. Г., Антонов В. Е., Белаи И. Т.* УФН, 1982, т. 137, № 4, с. 663—705.
- [4] *Raub E., Fritsche W.* Zs. Metallkde, 1963, Bd. 54, H. 1, S. 21—23.
- [5] *Miedema A. R.* J. Phys. F: Metal Phys., 1974, vol. 4, № 1, p. 120—135.
- [6] *Peisl H.* In: Hydrogen in Metals I, ed. G. Alefeld, J. Völkl. Topics in Appl. Phys. Berlin, Heidelberg, N.—Y.: Springer—Verlag, 1978, vol. 28, p. 53—74.
- [7] *Соменков В. А., Шильштейн С. Ш.* Фазовые превращения водорода в металлах (обзор). М.: Изд. ИАЭ, 1978. 81 с.
- [8] *Schober T., Wenzl H.* In: Hydrogen in Metals II, ed. G. Alefeld, J. Völkl. Topics in Appl. Phys. Berlin, Heidelberg, N.—Y.: Springer—Verlag, 1978, vol. 29, p. 11—71.
- [9] *Stritzker B., Wühl H.* In: Hydrogen in Metals II, ed. G. Alefeld, J. Völkl. Topics in Appl. Phys. Berlin, Heidelberg, N.—Y.: Springer—Verlag, 1978, vol. 29, p. 243—272.
- [10] *Спицын В. И., Понятовский Е. Г., Антонов В. Е., Белаи И. Т., Балаховский О. А.* ДАН СССР, 1979, т. 247, № 6, с. 1420—1423.

Институт физики твердого тела АН СССР
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
18 июня 1986 г.