

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук Седельникова Дениса Владимировича на тему: «Тройные интерметаллиды, содержащие индий, рутений и редкоземельный элемент: синтез, кристаллические структуры, физические свойства» по специальности 1.4.1 – Неорганическая химия.

Диссертационная работа Седельникова Д.В. посвящена поиску и синтезу новых тройных интерметаллидов в системах R-Ru-In (R = Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), определению кристаллических структур, температур плавления и исследованию магнитных свойств полученных соединений.

Интерес к такого рода интерметаллидам связан с тем, что среди них часто встречаются соединения с так называемыми сильно коррелированными электронными системами, демонстрирующие набор необычных физических свойств, таких как Кондо-эффект, тяжелофермионное состояние, тяжелофермионная сверхпроводимость, переменная валентность. Систематические исследования таких фаз направлены на решение как фундаментальных, так и прикладных проблем. Это определяет актуальность темы диссертационной работы.

Работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, результатов исследования, обсуждения, выводов, списка цитируемой литературы и приложений. Диссертация изложена на 153 страницах машинописного текста, содержит 73 рисунка и 51 таблицу. Список литературы включает 137 наименований.

Во **введении** дается обоснование актуальности выбранной для исследования темы, сформулированы цель и задачи работы, а также

приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и сведения об апробации работы.

В **обзоре литературы** автор анализирует имеющуюся информацию о фазовых отношениях в соответствующих бинарных системах и имеющуюся информацию о соединениях в тройных системах {PЗЭ}-Ru-In, {PЗЭ}-Fe-In, {PЗЭ}-Rh-In, а также особенности строения и магнитных свойств тройных интерметаллидов известных в этих системах. На основе совокупности представленного в обзоре литературы материала автор обобщает сходства и различия в строении и свойствах тройных интерметаллидов, содержащих PЗЭ, переходный металл и металл 13 группы, дает прогноз о поиске и получении новых интерметаллидов в системах {PЗЭ}-Ru-In.

Обзор литературы заканчивается выводами, в которых диссертант проводит обобщение литературных данных и подтверждает актуальность темы исследования.

В **экспериментальной части** описан метод синтеза интерметаллидов и используемые в работе методы исследования полученных образцов.

В главе **результаты исследования** представлены экспериментальные данные о кристаллических структурах полученных соединений, а также их физических свойствах.

В главе **обсуждение результатов** проанализированы и обобщены данные о кристаллическом строении полученных, а также известных из литературных данных соединений из систем R-Ru-In.

В **заключении** представлены итоги выполненного исследования, выводы, которые полностью соответствуют поставленным целям и задачам, а также перспективы дальнейшего развития темы.

В работе получено и охарактеризовано 29 новых интерметаллических соединений. Из них 23 интерметаллида синтезировано в системах R-Ru-In (R

= Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) и еще 6 в системах R-Ru-Al (R = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm), используемых в качестве модельных. Для интерметаллидов  $R_2Ru_{1-x}In_{1+x}$  и  $R_{26}(Ru_xIn_{1-x})_{17}$  установлено, что соединения имеют область гомогенности, границы которой были определены. Кроме того, Седелниковым Д.В. определены температуры и характер плавления синтезированных соединений, а также выявлена зависимость между величиной температуры плавления и порядковым номером редкоземельного элемента в ряду изоструктурных соединений. В работы были определены магнитные свойства группы полученных соединений:  $Nd_{26}(Ru_xIn_{1-x})_{17}$ ,  $Dy_{26}(Ru_xIn_{1-x})_{17}$  при  $x = 0.47$  и  $Gd_6Ru_2In$  являются ферромагнетиками, а интерметаллид  $Pr_{23}Ru_7In_4$  – спиновым стеклом в области криогенных температур.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что экспериментальные данные о магнитных свойствах в совокупности со структурными данными синтезированных соединений могут быть использованы при построении теоретических моделей, объясняющих магнитные свойства соединений редкоземельных элементов. Ферромагнитные соединения  $Nd_{26}(Ru_xIn_{1-x})_{17}$ ,  $Dy_{26}(Ru_xIn_{1-x})_{17}$  при  $x = 0.47$  и  $Gd_6Ru_2In$  могут быть использованы в качестве легирующих добавок, увеличивающих величины коэрцитивных сил постоянных магнитов.

В целом работа выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне. Объем синтетической части достаточен и свидетельствует о стремлении автора к тщательности в проработке всех систем. Приведенные в работе новые экспериментальные данные не вызывают сомнений, поскольку получены с использованием современных методов исследования. Текст работы написан логично, достаточно структурировано, содержит хорошо проработанные рисунки и таблицы.

В работе хочется особенно выделить очень хорошо, цельно и конкретно представленную главу «Обсуждение результатов» про взаимосвязь кристаллических структур тройных соединений в системах R-Ru-In, в которой автору удалось достаточно просто и наглядно сформулировать переход нетривиальных сложных структурных типов в зависимости от концентрации РЗЭ.

К достоинствам работы стоит отнести авторский стиль представления информации, который отличается краткостью и содержательностью. Денис Владимирович придерживается конкретики при описании экспериментальных наблюдений и фактов, даёт их четкую и лаконичную интерпретацию и избегает спекуляций. В работе нет так называемой воды в виде общих рассуждений, материал подан в насыщенной, концентрированной манере.

Однако, к работе можно сделать несколько замечаний:

1. Уточнялись ли тепловые параметры атомов при определении структур по методу Ритвельда, в частности, для соединений  $\text{Pr}_{23}\text{Ru}_7\text{In}_4$  и  $\text{Nd}_{11}\text{Ru}_4\text{In}_9$ , для которых этот метод определения структуры единственный? Информация об этом в тексте диссертационной работы отсутствует.

2. Для некоторых новых соединений приводится набор критериев качества решения структуры, так называемые R-факторы, с достаточно высокими значениями, что намекает о проблемах в решении структуры. В работе не хватает пояснения к тому, как конкретные R-факторы рассчитаны и комментарии о причинах высоких значений. Такая ситуация с R-факторами присутствует, например, для соединения  $\text{Er}_{10}\text{Ru}_{2.1}\text{In}_{1.9}$  ( $R_{\text{exp}}=0.035, R_p= 0.102, R_{\text{wp}}= 0.136, R_F= 0.107, R_B= 0.104$ , см. таблицу 42), а также для соединений

$\text{Ho}_{10}\text{Ru}_{2.1}\text{In}_{1.9}$ ,  $\text{Lu}_{10}\text{Ru}_{2.1}\text{In}_{1.9}$  (см. таблицу П5). Кроме того, для соединений  $\text{Ho}_{10}\text{Ru}_{2.1}\text{In}_{1.9}$ ,  $\text{Lu}_{10}\text{Ru}_{2.1}\text{In}_{1.9}$  в тексте диссертационной работы не приведены уточненные по методу Ритвельда координаты атомов.

3. Параметры и объемы элементарных ячеек соединений  $\text{R}_2\text{Ru}_{1-x}\text{In}_{1+x}$  ( $\text{R} = \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$ ) и  $\text{R}_{26}(\text{Ru}_x\text{In}_{1-x})_{17}$  ( $\text{R} = \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$ ) в области гомогенности (см. табл. 25, 30) приводятся без каких-либо критериев достоверности, поэтому не вполне понятно, как именно они рассчитывались.

4. Для образцов  $\text{Nd}_{60}\text{Ru}_{17}\text{In}_{23}$  и  $\text{Dy}_{60}\text{Ru}_{17}\text{In}_{23}$  исследовано магнитное поведение. Однако непонятно, можно ли отнести это поведение к магнитному свойству именно соединений  $\text{Nd}_{26}(\text{Ru}_x\text{In}_{1-x})_{17}/\text{Dy}_{26}(\text{Ru}_x\text{In}_{1-x})_{17}$ , если по данным локального рентгеноспектрального анализа в образцах присутствуют микропримеси.

5. В тексте содержится некоторое количество опечаток, неудачных стилистических выражений и оформительских недочетов:

на стр. 60 на рис. 26 при записи формул в качестве разделителя разрядов в числах подстрочных индексов использованы запятые, а по всему остальному тексту – точки;

страницы 29, 34, 38, 68, 90, 119 начинаются с подписей к рисункам, тогда как сами рисунки расположены на предыдущих страницах;

стр. 74: « ....по совокупности результатов РФА и ЛРСА, только для празеодима получено соединение.....»;

стр.86 и «Атомы индия (In1) находится.....».

Данные замечания не снижают общее положительное впечатление от прочитанной работы и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов и сделанных диссертантом выводов.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Седельникова Дениса Владимировича полностью соответствует требованиям пунктов 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.4.1 – «неорганическая химия» (по химическим наукам). Работа оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Седельников Денис Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1 – «неорганическая химия».

Официальный оппонент

Кандидат химических наук,

Старший преподаватель кафедры неорганической химии

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Захарова Елена Юрьевна

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 02.00.01 – Неорганическая химия (хим. науки)

Адрес места работы:

119991, Москва, Ленинские горы, д.1 стр. 3

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Тел.: 8-495-939-55-02

E-mail: zakharovaey@my.msu.ru

«3» декабря 2024 г.

Подпись сотрудника Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова  
Захаровой Е.Ю. удостоверяю: