

## ОТЗЫВ

об автореферате диссертации Брежнева Николая Юрьевича на тему : «СИСТЕМЫ Ga–S и In–Se: КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФАЗ и T–x- ДИАГРАММЫ», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.1. Неорганическая химия

Диссертационная работа Н. Ю. Брежнева направлена на выявление принципов направленного синтеза новых полупроводниковых функциональных материалов типа  $A^{III}B^{IV}$ , определение физико-химических условий их образования, кристаллохимических особенностей и способов стабилизации различных полиморфных модификаций. Особое внимание в работе уделено малоизученным дефектным фазам, содержащим стехиометрические вакансии. Такие фазы перспективны для создания термоэлектрических, каталитических, радиационно-стойких материалов. Основными объектами работы выбраны чрезвычайно сложные для экспериментальных исследований системы Ga – S и In – Se. О последнем, в частности, свидетельствует тот факт, что несмотря на практическую значимость данных систем и многочисленные попытки изучения фазовых равновесий, имеющиеся в литературе данные крайне противоречивы.

Для исследования систем Ga – S и In – Se автор использует комплексный подход, объединяющий ряд самых современных методов: дифференциальный термический анализ, высокотемпературную рентгеновскую дифракцию синхротронного излучения *in situ*, просвечивающую электронную микроскопию высокого разрешения, дифракцию электронов в выбранной локальной области, порошковую рентгеновскую дифракцию, хроматотермографический анализ, основанный на сравнении серии снимков поверхностей исследуемых веществ, полученных при различных температурах, оптическую тензиметрию с использованием вспомогательного компонента. Также, по спектрам диффузного отражения для ряда фаз определена ширина запрещенной зоны, что позволило установить взаимосвязь между условиями синтеза, составом, структурой и свойством.

К важнейшим результатам работы следует отнести следующие. В системе Ga – S впервые определены области существования трех высокотемпературных сесквисульфидов галлия:  $\gamma\text{-Ga}_{2+\delta}\text{S}_3$  ( $F\text{-}43m$ ) (кубическая сфалеритоподобная фаза с неупорядоченными стехиометрическими вакансиями,  $\delta \approx 0.06$ ), дефектная вюрцитоподобная фаза и производная от нее фаза с более низкой симметрией,  $\beta\text{-Ga}_2\text{S}_3$  ( $P6_3mc$ ) и  $\alpha\text{-Ga}_2\text{S}_3$  ( $P6_1$ ), соответственно. Получена и исследована моноклинная модификация сесквисульфида галлия,  $\alpha'\text{-Ga}_2\text{S}_3$  ( $Cc$ ), стабильная при комнатной температуре. На основании полученных результатов разработаны методики воспроизводимого синтеза дефектных сульфидов галлия с заданными структурами и составами. В системе In – Se автором установлено существование двух полиморфных модификаций  $\text{In}_6\text{Se}_7$ :  $\alpha\text{-In}_6\text{Se}_7$  ( $P2_1$ ) (известная ранее) и  $\beta\text{-In}_6\text{Se}_7$  ( $P2_1/m$ ) (новая модификация). Определен ряд полиморфных модификаций для различных сесквиселенидов индия,  $\sim \text{In}_2\text{Se}_3$ , сменяющих друг друга при возрастании температуры. Полученные результаты проанализированы с точки зрения концепции Э. Партэ, согласно которой структуры, близкие к структуре алмаза, могут реализоваться при концентрации валентных электронов в диапазоне 4.00 – 4.80 (в отдельных случаях – до 4.92).

Автор отмечает, что в системе  $In - Se$  достижение равновесных состояний затруднено. Представляется интересной точка зрения автора о различии физико-химического поведения этих, казалось бы, близких по химизму систем  $Ga - S$  и  $In - Se$ , а именно, об относительной сложности достижения равновесия в системе  $In - Se$  в ходе исследований.

Автореферат логичен, написан ясным научным языком, хорошо оформлен и, в целом, оставляет самое хорошее впечатление. Защищаемые положения надежно обоснованы результатами комплексных исследований. Отдельно следует отметить высокий уровень публикаций. К настоящему моменту по результатам диссертации опубликовано пять статей, из которых две – в журналах первого квартиля, *Journal of Alloys and Compounds* (Elsevier, IF = 6.2) и *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (Springer, IF = 4.4). Основные результаты диссертации представлены автором на национальных и международных конференциях.

Считаю, что диссертация Брежнева Николая Юрьевича на тему : «СИСТЕМЫ  $Ga-S$  и  $In-Se$ : КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФАЗ и Т-х-ДИАГРАММЫ» полностью соответствует специальности 1.4.1 Неорганическая химия и основным требованиям, установленным п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (со всеми изменениями и дополнениями, в текущей редакции); соискатель, Брежнев Николай Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1. Неорганическая химия.

Согласна на обработку персональных данных.

**Беккер Татьяна Борисовна –**

Доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография, профессор РАН, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Почтовый адрес: ФГБОУ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3.

Тел.: +7 913 928 8829

Адрес электронной почты: [t.b.bekker@gmail.com](mailto:t.b.bekker@gmail.com), [bekker@igm.nsc.ru](mailto:bekker@igm.nsc.ru)



**ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ**  
**ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ**  
**ЖИЛОВА Е.Е.**  
07.09.2023 г.

Т. Б. Беккер

07 сентября 2023 г.

Дата