

УТВЕРЖДАЮ

Проректор - начальник Управления научной политики  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова»



доктор физ.-мат. наук, профессор

Федянин А. А.

2 июня 2022 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию в виде научного доклада на тему «Развитие методов синтеза и роста монокристаллов халькогенидов для решения задач в экспериментальной минералогии и получения функциональных кристаллических материалов», представленную на соискание ученой степени доктора наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Представленная диссертация посвящена разработке и практическому применению новых подходов к росту кристаллов. Актуальность тематики работы определяется тем, что монокристаллы халькогенидов являются важной частью индустрии высоких технологий. С другой стороны, данные соединения являются неотъемлемой частью природных рудных систем, поэтому экспериментальные данные по их фазообразованию являются актуальными для поиска и разведки полезных ископаемых.

Значимость полученных результатов очевидна с двух основных позиций. Первое, это вклад разработанных методик в процедуры взрывобезопасного синтеза, получения объемных монокристаллов и тонких пленок халькогенидных соединений. Второе – демонстрация эффективности предложенных методик полученными практическими результатами. В целом, значимость результатов подкрепляется количеством и качеством публикаций в престижных научных журналах, например, *Advanced materials*, *Nature* и др.

Работа К.А. Коха обладает несомненной научной новизной. Получены новые данные для экспериментальной минералогии о перераспределении компонентов на контакте пирит / Au-Ag сплав. Показано, что наряду с Au-Ag сплавом, происходит формирование сложных сульфидов золота и серебра при кристаллизации расплавов в системе  $\text{FeS}_2\text{-Au-Ag}$ .

Очевидным достижением соискателя служит разработанный подход по получению встроенного p/n перехода в монокристалле  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  за счет использования эффекта сегрегации компонентов в расплаве в процессе кристаллизации. Украшением работы служат практические результаты, достигнутые, в том числе, за счет усилий диссертанта по совершенствованию процессов кристаллизации. Синтезированы стойкие к окислению на воздухе образцы халькогенидов со структурой тетрадимита, что позволяет использовать их в метрологии и устройствах спинтроники. А на кристаллах  $\text{GaSe:S}_{2,5}\text{:Al}_{0,05}$  впервые реализована схема генерации ТГц излучения с рекордными значениям дальности регистрации.

Вклад автора и апробация работы. В основу работы положена огромная работа соискателя по синтезу и ростовым экспериментам, общее количество которых приближается к 1000. Характеризация образцов выполнена на высоком уровне, с использованием самого современного оборудования в Российских и международных исследовательских центрах. Результаты исследования были лично доложены диссертантом на 17 научных конференциях. Качество проведенной работы подчеркивается большим количеством опубликованных работ, среди которых можно выделить по 2 статьи в журналах Nature (IF=49) и Advanced materials (IF=30). Требование к формату защиты диссертации в виде научного доклада (30 научных публикаций в журналах Q1-Q2 за 10 лет) значительно перевыполнено. Согласно Scopus, Кох К.А. соавтор 209 научных публикаций за период 2011-2021 гг, H-индекс – 31.

Представленная на рассмотрение работа охватывает обширную номенклатуру соединений. Поэтому некоторые результаты автора освещены либо слишком кратко либо вообще не упоминаются (например, в тексте полностью отсутствуют результаты по уникальным электронным свойствам топологических изоляторов), а какие-то результаты (например, по  $\text{LiTm}(\text{WO}_4)_2$ ) из указанных работ соискателя вообще не вошли в текст диссертации. Возможно, это обусловлено спецификой формата защиты диссертации в виде научного доклада. Работа действительно представляет собой краткое обобщенное изложение результатов проведенных исследований и разработок, известных широкому кругу специалистов.

Кроме указанного замечания, по самому тексту работы возникают следующие вопросы:

- автор утверждает, что разработанная методика роста кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  обеспечивает отсутствие окисления поверхности скола  $\{0001\}$ , однако самим автором показано, что стабильность поверхностей сильно зависит от их состояния (дефектов, ступеней и качества скола). Таким образом, окисление поверхности является количественной характеристикой, зависящей, вероятно, от состояния поверхности, влажности и времени экспозиции. Подобные исследования проведены не были.
- из текста работы не ясно, является ли p-n переход однородным в сечении роста кристалла  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ? Насколько реально получить образец, содержащий эту границу?
- В выводах указано: «Модернизирован тепловой узел в методе Бриджмена, за счет чего стало возможным управлять кристаллографической ориентацией выращиваемого кристалла GaSe без использования затравочного кристалла». Вероятно правильнее было бы указать, в чём именно заключалась модернизация.

На основании вышеизложенного, ведущая организация считает, что диссертация К.А. Коха в виде научного доклада на тему «Развитие методов синтеза и роста монокристаллов халькогенидов для решения задач в

экспериментальной минералогии и получения функциональных кристаллических материалов» является законченным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований и разработок осуществлен значительный прогресс в области синтеза и роста кристаллов халькогенидных соединений.

Проведенный комплекс исследований позволил: усовершенствовать методики синтеза и кристаллизации халькогенидных соединений из расплава, раствора-расплава и газовой фазы; проанализировать зависимость физических свойств кристаллов GaSe с допирующими примесями в зависимости от их концентрации; определить закономерности в Au/Ag соотношениях в металлических и сульфидных фазах на контакте Au-Ag сплав – пирит, а также при кристаллизации расплавов на основе FeS и FeS<sub>2</sub>. Все защищаемые положения нашли свое отражения в опубликованных работах.

Диссертация соответствует паспорту заявленной специальности 25.00.05 – Минералогия, кристаллография, а именно п.11. «Экспериментальная минералогия», п.19. «Методы выращивания монокристаллов», п.20. «Комплексные рентгеноструктурные, спектроскопические исследования монокристаллов природных и синтетических минералов – новых перспективных материалов».

Из вышесказанного следует, что Кох Константин Александрович заслуживает присуждения ему искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Отзыв составлен ведущим научным сотрудником кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», доктором геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 Димитровой Ольгой Владимировной (+7(495)939-49-

26, dimitrova@list.ru) и ведущим научным сотрудником кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», доктором химических наук по специальности 25.00.05, заведующим лабораторией кристаллографии и роста кристаллов Мальцевым Виктором Викторовичем (+7(495)939-28-81, maltsev@geol.msu.ru).

Отзыв заслушан, обсужден и утвержден на заседании кафедры кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (протокол № 6/22 от 1 июня 2022 г.).

И.о. декана

геологического факультета МГУ

им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой

кристаллографии и кристаллохимии

чл.-корр. РАН,

доктор химических наук, профессор



Еремин Н.Н.

Доктор геолого-минералогических наук,

ведущий научный сотрудник



Димитрова О. В.

Доктор химических наук,

ведущий научный сотрудник,

заведующий лабораторией кристаллографии

и роста кристаллов



Мальцев В.В.

Зам. декана  /Bobrov A.B./