

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Айдиняна Нарека Вааговича «Кинетика роста крупногабаритных монокристаллов парателлурита и германия в методе Чохральского», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Метод Чохральского является одним из наиболее эффективных методов выращивания монокристаллов, являющихся основой для подавляющего числа современных технических устройств. Получаемые по методу Чохральского монокристаллы парателлурита и германия, ростовая кинетика которых исследована в диссертации Н.В. Айдиняна, являются материалами, успешно используемыми в течение многих лет в оптике, акустооптике, тепловизионной и лазерной технике. Одной из основных проблем, стоящих на пути расширения функциональных возможностей и повышения характеристик приборов и устройств, изготовленных на базе этих кристаллов, является задача увеличения их размеров, улучшения структурного совершенства и однородности распределения физических свойств. Эта проблема актуальна и для кристаллов многих других веществ, выращиваемых из расплава. Таким образом, диссертационная работа Н.В. Айдиняна актуальна как в чисто научном отношении, давая новые экспериментальные данные, имеющие общее значение для развития теории роста кристаллов из расплава, так и в своих прикладных аспектах, важные для развития и оптимизации технологий получения кристаллов методом Чохральского.

Сформулированные цель и задачи диссертационной работы отвечают *критериям новизны*. Новыми являются и полученные при их решении основные результаты, среди которых наиболее ценными и интересными представляются следующие:

1. Выведенные уравнения для реальных значений скоростей роста кристалла способом Чохральского, полученные с учетом ранее не рассмотренных факторов, а также анализ этих уравнений и сделанные из выводы, имеющие прикладное значение.

2. Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение различий в кинетике процессов роста и плавления монокристаллов парателлурита и германия, полученное путем изучения микрорельефа (нанорельефа) их поверхностей.
3. Разработка и успешная апробация удобного, прецизионного и высокоточного бесконтактного способа измерения температуры расплава, кристалла и фронта кристаллизации в методе Чохральского.
4. Практическое выращивание методом Чохральского крупногабаритных монокристаллов парателлурита с уникально низкой для этих материалов плотностью дислокаций и малыми оптическими потерями.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечена корректностью применения современных методов, включающих АСМ, РЭМ, интерференционную профилометрию и оптическую фурье-спектрометрию. Результаты исследований апробированы на международных и отечественных научных конференциях, а также представлены в статьях, включающих 3 публикации в журналах из списка ВАК.

Практическая значимость результатов диссертации обоснована существенным повышением структурного и оптических характеристик у кристаллов парателлурита и германия, выращенных с учетом корректив, внесенных в соответствующие технологии по результатам проведенных исследований, сделанным выводам и рекомендациям, а также успешном использовании выращенных в ходе экспериментов кристаллов в качестве элементов действующих оптических, акустооптических и тепловизионных устройств.

Представленная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированных источников из 128 наименований, она изложена на 158 страницах и содержит 77 рисунков и 2 таблицы.

Во введении дано общее описание работы, обоснованы ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, являющейся литературным обзором по теме диссертации, изложена сущность современных теорий роста кристаллов из расплава, представлены известные экспериментальные данные о ростовой кинетике парателлурита и германия, изложены принципы, лежащие в основе прямых и косвенных методов, которые могут использоваться при изучении кинетических параметров и закономерностей.

Во второй главе, представляющей собой теоретическую часть диссертации, выведены уравнения для истинных скоростей роста кристалла по Чохральскому, в которых учтены ранее не рассмотренные факторы. Дан подробный анализ этих уравнений, из которого получен алгоритм управления вертикальной механической скоростью вытягивания, позволяющий поддерживать постоянство истинной скорости роста кристалла. Далее в главе теоретически рассмотрены вопросы, связанные с асимметрией кинетики процессов роста и плавления массивных кристаллов. При этом показано, что из известных термодинамических соотношений эта асимметрия вытекает непосредственно, что обосновано представленными расчетными зависимостями.

В третьей главе содержатся результаты термометрических измерений расплавов, окружающего кристаллы и тигли пространства, проведенных несколькими методами во время процессов вытягивания по методу Чохральского крупногабаритных монокристаллов парателлурита и германия. Полученные экспериментальные данные о температурных полях, скоростях роста и переохлаждениях использованы для расчета температурных градиентов и кинетических коэффициентов. Изучены особенности гидродинамики расплавов обоих веществ. Практически реализованы условия, обеспечивающие стабильность ростовой кинетики при вытягивании кристаллических буль парателлурита и германия цилиндрической формы.

В четвертой главе приведены данные материаловедческих и оптических исследований кристаллов парателлурита и германия, вытянутых из расплава методом Чохральского в условиях, соответствующих нормальному и тангенциальному механизмам роста. Проведен сравнительный анализ

структурных и оптических характеристик соответствующих объемов кристаллов, из которого сделан вывод о заметно более высоком качестве объемов обоих монокристаллов, сформированных в условиях тангенциального механизма роста. Представлены результаты микроскопических исследований микро-нанорельефа поверхностей кристаллов, отражающие флуктуации температуры на межфазной границе. Они использованы как для оценок кинетических коэффициентов, так и подтверждения асимметрии процессов роста-плавления в виде различия углов наклона поверхностных неровностей рельефа к оси вытягивания на участках, соответствующих увеличению и уменьшению радиуса кристаллов.

В заключении представлены выводы, обобщающие результаты работы, из которых следует успешное достижение цели и задач диссертационных исследований.

Автореферат достаточно точно и полно отражает основное содержание диссертации.

В диссертационной работе Н.В. Айдиняна имеются и некоторые недостатки, среди которых можно привести следующие:

1. Литературный обзор, в основном, отражает современные теоретические подходы к описанию роста кристаллов из расплава, но дает недостаточную информацию о технологиях роста, экспериментальных исследованиях объектов исследования и достигнутых результатах, полученных исследовательскими группами как в России, так и за рубежом.
2. При описании ростовых технологий в третьей главе (стр. 64) указано, что выращенные кристаллы парателлурифта подвергаются затем длительному высокотемпературному отжигу. В связи с этим возникает вопрос, не затронутый, к сожалению, в диссертации: не изменяются ли значительно при отжиге концентрации и пространственное распределение дефектов структуры и величины механических напряжений в кристаллах, исследуемых после отжига? В этом случае обнаруженные отличия структурных и оптических характеристик материала образованного при нормальном и тангенциальном механизмах роста

могут, возможно, объясняться не различиями кинетики, а анизотропией физических свойств кристаллов.

3. Поскольку в четвертой главе сделан вывод о различии структурных характеристик объемов кристаллов, полученных при различных механизмах роста, следовало бы представить графические пояснения – схемы, из которых были бы понятны относительные размеры и взаимное расположение этих объемов, желательно, с привязкой к кристаллографической системе координат.

4. Разработка теоретической и экспериментальной базы, которая позволила усовершенствовать технологию выращивания кристаллов парателлурида и германия, должна сопровождаться, в силу технологического характера работы, защитой новых результатов в виде патентов заявок на изобретения. Однако эта необходимая часть работы не отражена ни в диссертации, ни в автореферате.

5. В тексте диссертации обнаруживаются орфографические и пунктуационные ошибки, а также некоторое количество явных опечаток.

Тем не менее, отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают общую высокую оценку представленной диссертации.

Диссертация написана хорошим языком, основные результаты работы опубликованы в реферируемых журналах и обсуждены на международных и всероссийских конференциях и семинарах. Автореферат достаточно точно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Н.В. Айдиняна «Кинетика роста крупногабаритных монокристаллов парателлурида и германия в методе Чохральского» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на современном уровне. По актуальности, научной новизне, большому объему выполненных теоретических и экспериментальных исследований и по практической значимости их результатов она отвечает всем требованиям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842), а ее автор Айдинян Нарек Ваагович заслуживает

присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент, старший научный сотрудник
ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук
кандидат физ.-мат. наук

И.П. Пронин

Ученый секретарь ФТИ им. А. Ф. Иоффе
доктор физ.-мат. наук

А.П. Шергин

12 сентября .2017

Санкт-Петербург, Политехническая, 26
Телефон: 8921-3040841
E-mail: _Petrovich@mail.ioffe.ru