

В Диссертационный совет  
Д 002.205.01  
при ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН  
194021, Санкт-Петербург,  
ул. Политехническая, д. 26

### **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию Маслова Виктора Николаевича

«Морфология боковой поверхности профилированных монокристаллов лейкосапфира, выращенных способом Степанова»

представленную на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Настоящая работа посвящена решению такой **актуальной практической проблемы**, как понимание механизма проявления гранных форм на боковой поверхности профилированных монокристаллов лейкосапфира, при выращивании их способом Степанова. Для монокристаллов характерна анизотропия свободной поверхностной энергии, которая приводит к развитию на их поверхности естественных граней и других морфологических особенностей. Ограничение, как проявление фундаментального свойства твердого тела – анизотропии поверхностной энергии, изучено недостаточно. Поэтому изучение механизма проявления гранных форм является так же и **актуальной научной проблемой**. Существующие модели позволяют описывать ограниченный набор плоскостей и плохо предсказывают экспериментально получаемую форму кристаллов.

#### **Объем и структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, словаря терминов, списка литературы из 53 наименований и приложений. Текст изложен на 173 страницах, содержит 54 рисунка и 14 таблиц.

**Целью работы** является выявление закономерностей в проявлении гранных форм и других морфологических особенностей боковой поверхности профилированных кристаллов сапфира, выращенных способом Степанова, их влияние на окончательную форму кристалла, а также разработка математического аппарата для прогнозирования образующихся граней.

Во **введении** кратко обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи работы, указана научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава**, носящая в большей степени обзорный характер, посвящена вопросам кристаллографии и кристаллохимии корунда.

Рассмотрены рентгеновские данные по решетке сапфира. Приведены её проекции на три главные плоскости кристаллической решетки сапфира ( $c$ ,  $a$ ,  $m$ ), построенные на основе рентгеновских данных.

**Вторая глава** посвящена способу Степанова для выращивания профилированных кристаллов и фактическому материалу, который используется для дальнейшего изучения.

Способ Степанова позволяет выращивать из расплава кристаллы заданной формы, требующие минимальной обработки – профилированные кристаллы. Для задания используется специальное устройство – формообразователь, который формирует жидкий столб расплава с сечением, соответствующим сечению выращиваемого кристалла. При этом, на боковой поверхности профилированных кристаллов, образуются грани, влияющие на качество и окончательную форму будущего изделия.

Для изучения морфологии боковой поверхности профилированных монокристаллов сапфира, были выращены монокристаллические стержни диаметром 8 мм трех практически важных для сапфира ориентаций ( $c$ ,  $a$ ,  $m$ ) с максимальным контролем условий выращивания.

**В третьей главе** дается обзор существующих методов расчета огранения монокристаллов. Проанализированы работы, в которых даются данные по расчетам для кристаллов корунда.

Известно, что способность кристалла самоограняться – это проявление анизотропии свободной поверхностной энергии, определяемая его структурой и условиями роста. Существующие методы расчета огранения кристаллов через его равновесную форму можно разделить на три больших группы:

«Пальцевые» методы, к которым относятся метод Ретикулярной плотности, метод Доннея-Харкера, метод Периодических цепей связей (ПЦС) – наиболее простые модели, дающие качественную оценку огранению кристаллов.

Методы молекулярного моделирования – дающие количественные оценки поверхностных энергий. Наиболее известен программный пакет METADISE. Менее распространенным методом является метод Ненасыщенности связей.

Методы квантового моделирования – наиболее ресурсоемкие методы. Они основаны на различных моделях взаимодействия атомов и учитывают распределение электронной плотности в кристалле.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальному изучению морфологии боковой поверхности профилированных монокристаллов. Изложено обоснование создания видеогониографа, изложен принцип его работы и приведены результаты изучения огранения боковой поверхности профилированных монокристаллических стержней сапфира различных ориентаций ( $c$ ,  $a$ ,  $m$ ). Показаны, значительно превышающие предшествующие приборы, возможности по изучению морфологии боковой поверхности цилиндрических монокристаллов.

Выделены основные элементы морфологии боковой поверхности цилиндрических кристаллов – плоская грань, ребро, уплощение. Приведена математическая модель, объясняющая регистрируемые рефлекссы.

В **пятой главе** представлен новый метод расчета свободной поверхностной энергии кристаллов сапфира по сечениям указательной поверхности, произведены расчеты свободной поверхностной энергии для трех главных плоскостей кристаллов сапфира, совпадающих с кристаллографическими направлениями выращивания кристаллов, использованных для экспериментов в главе 4. Приведено описание методики расчета и сделано сопоставление результатов расчетов с экспериментально полученными результатами.

В **заключении** представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

Итак, **научную новизну** результатов, изложенных в работе, можно свести к тому, что:

- **Предложена новая** математическая модель расчета свободной поверхностной энергии по сечениям указательной поверхности, позволившая впервые получить полные сечения указательной поверхности свободной поверхностной энергии для трех главных ориентаций кристаллов сапфира.

- **Впервые** детально изучена морфология боковой поверхности цилиндрических монокристаллов сапфира различной ориентации, выращенных способом Степанова и выявлен ряд неизвестных ранее морфологических особенностей.

- **Разработан новый** оптический прибор с цифровой регистрацией для исследования особенностей морфологии боковой поверхности цилиндрических монокристаллов на количественном уровне и предложена математическая модель для интерпретации наблюдаемых отражений.

- **Впервые** полученные результаты расчета свободной поверхностной энергии подтвердились экспериментальными данными.

**Научная и практическая значимость** работы заключается в следующем:

- Полученные экспериментальные и расчётные результаты могут служить основой для дальнейшего изучения влияния ограничения на форму профилированных кристаллов. Выполненные исследования являются необходимым этапом на пути решения задачи расчёта реальной формы кристалла и её отклонения от формы, задаваемой формообразователем вследствие анизотропии свободной поверхностной энергии. Это, в свою очередь, необходимо для развития методов управления формой и оптимизации процесса выращивания.

- Разработанный и созданный новый оптический прибор – видеогониограф, являющийся уникальным инструментом изучения морфологии кристаллов, который может также стать устройством для неразрушающего экспрессного анализа разориентации кристаллов, что сейчас не позволяет делать ни один существующий метод.

- Данные полученные с помощью видеогониографа и разработанного метода расчета вносят весомый вклад в понимание таких фундаментальных свойств твердых тел, как свободная поверхностная энергия и ее анизотропия, а также влияние этих свойств на реальную форму кристалла.

Детальное знакомство с диссертацией Маслова В.Н. позволяет сделать однозначный вывод о **достоверности полученных результатов и обоснованности выводов**, которые определяются использованием современных методов и подходов, достаточным объемом экспериментального материала, согласием с развивавшимися ранее представлениями и высокой степенью практической реализации полученных результатов.

Основное содержание диссертации отражено в 8 публикациях, в том числе 4 в рецензируемых журналах. Результаты докладывались на 4 международных и национальных конференциях. Это дает основание говорить о **хорошей апробации результатов** диссертационной работы.

**Личный вклад автора** в публикациях состоял в постановке целей и задач, личного участия в проведении исследований, участие в разработке и создании прибора, участие в создании математической модели, а также в обработке и обсуждении результатов, и подготовке их к печати.

**Автореферат и публикации** полно отражают содержание диссертации.

Оценивая в целом положительно диссертационную работу Маслова В.Н., нельзя не отметить имеющиеся недостатки:

1. В работе дан скудный обзор работ по морфологии корунда. В обзоре литературы не рассмотрены профилированные кристаллы сапфира, выращиваемые способом Вернейля.
2. Не приведена сводная стереографическая проекция известных форм роста, что не позволяет сопоставить полученные с помощью видеогониографа координаты граней с известными формами роста, встречающимися в виде граней.
3. На стр. 20 дано описание юстировки затравочного кристалла. Так как не приведено никаких численных данных, то совершенно не ясно, как достигается заявленная точность юстировки в 3 минуты.
4. При описании видеогониографа не приведены характеристики его составных частей: тип матрицы цифровой камеры, частота вращения кристалла и частота кадров, параметры осветителя и т.д. Отсутствует расчёт погрешности измерения.
5. Без ущерба для восприятия можно было уменьшить размер многих рисунков. Это позволило бы избегать появления пробелов размером в пол страницы и сделать печатный вариант диссертационной работы более компактным.

### **Общая оценка работы.**

В целом отмеченные недостатки не снижают общей значимости диссертации. Оппонируемая работа является законченным научным трудом по актуальной тематике, результаты которой опубликованы в журналах из Перечня ВАК и представлены на ведущих конференциях по ее проблематике. Научные положения обоснованы и достоверны.

В диссертации Маслова В.Н. содержится решение задачи, имеющей значение для развития такой отрасли знаний, как физика конденсированного состояния, изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки в области изучения ограничения боковой поверхности профилированных кристаллов.

Диссертация Маслова В.Н. удовлетворяет всем требованиям ВАК, изложенным в положении № 842 от 24.09.2013 г. «О присуждении ученых степеней», а ее автор – Маслов Виктор Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Якобсон Виктор Эрнстович

кандидат физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник лаб. ОМ-24

АО «Научно-исследовательский  
и технологический институт оптического  
материаловедения Всероссийского научного  
центра «ГОИ им. С.И. Вавилова»

192171, г. С-Петербург, ул. Бабушкина, д. 36, к. 1

тел.: (812) 386-73-16, факс: (812) 560-10-22;

e-mail: [info@goi.ru](mailto:info@goi.ru); [Jacobson@goi.ru](mailto:Jacobson@goi.ru).