

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук
заведующего кафедрой математики ФГБОУ ВО СПбГТИ (ТУ)
Груздкова Алексея Андреевича

на диссертацию Смирнова Андрея Михайловича

«Дислокационные модели релаксации напряжений несоответствия в цилиндрических, сферических и плоских композитных структурах»,
представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа посвящена разработке дислокационных моделей релаксации напряжений несоответствия в композитных наноструктурах. Производится сравнение различных механизмов релаксации и различных структур, даётся количественная оценка критических значений параметров.

Актуальность темы

Композитные наноструктуры находят всё более широкое применение в различных областях техники, прежде всего в микроэлектронике. Рассогласованность кристаллических решёток фаз, образующих материал, приводит к появлению напряжений несоответствия, которые вызывают упругие деформации. Релаксация напряжений несоответствия происходит за счёт формирования дефектной структуры, которая существенным образом отражается на функциональных свойствах материала и даже может стать причиной его разрушения в процессе изготовления.

Одним из основных механизмов релаксации является образование дислокаций несоответствия, изучение которых началось более полувека назад в связи с расширением применения полупроводников. Интенсивное изучение различных механизмов релаксации напряжений несоответствия приходится, однако, на последние десятилетия. Важной проблемой является определение критических условий зарождения дислокаций определённого типа, что позволило бы предсказывать свойства композитных наноструктурированных материалов. Проведение экспериментальных исследований является достаточно трудоёмким, а достаточно хорошо разработанных теоретических моделей, позволяющих давать количественные оценки, в настоящее время нет.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы очевидна.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность выводов работы обусловлена применением классических методов теории упругости и теории дислокаций, выполнением расчётов с использованием хорошо известных коммерческих программных пакетов, сопоставлением результатов с известными экспериментальными данными.

Результаты работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, неоднократно докладывались на научных конференциях.

Оценка достоверности и новизны результатов

В первой главе диссертации даётся довольно обстоятельный обзор теоретических и экспериментальных работ, посвящённых дефектам в композитных структурах и их

влиянию на физические и механические свойства материалов. Автор демонстрирует хорошее знакомство с современной литературой по теме диссертационной работы.

Во второй главе анализируется зарождение дислокаций в нанопроволоках, сплошных и полых сферических наночастицах, двух- и трёхслойных пластинах.

Для определения напряжений несоответствия в нанопроволоках с ядром в виде параллелепипеда с квадратным сечением в работе, в качестве модельной, аналитически решена краевая задача теории упругости о цилиндре со свободной поверхностью и включением в виде прямоугольного параллелепипеда, расположенного симметрично относительно оси цилиндра. Автор, применяя метод Колосова-Мухелишвили и используя известное решение для бесконечной упругой среды, получает выражения для компонент тензора напряжений несоответствия в виде рядов Фурье по угловой координате. Полученное решение является новым результатом. Расчёт напряжений несоответствия для остальных случаев приводится в приложениях А-Ж, при этом используются известные результаты или их модификация.

При анализе зарождения дислокаций автор применяет энергетический подход, предполагая, что зарождение дислокаций происходит, если при этом понижается полная энергия системы. Для каждого разобранных случаев автор определяет предпочтительный тип дислокационных петель. Научной новизной обладают выполненные в работе количественные оценки полного изменения энергии наноструктуры, сопровождающего образование дислокаций несоответствия, а также определение тех областей наноструктур, в которых следует ожидать зарождения дислокаций определенной конфигурации.

В третьей главе рассматриваются аналогичные задачи для III-нитридных гетероструктур, которые находят широкое применение в лазерах и светодиодах. Дано теоретическое описание образования дислокаций несоответствия путем базисного или призматического скольжения, что является новым результатом.

На основе проведённого анализа определены критические условия возникновения дислокаций несоответствия. Обоснованность выводов подтверждается сравнением теоретических результатов с экспериментальными данными о дислокационной структуре в III-нитридных гетероструктурах.

Таким образом, в работе получен ряд результатов, обладающих безусловной научной новизной.

Значимость для науки и практики

Полученные в работе результаты полезны с точки зрения совершенствования технологий получения композитных наноструктур. Результаты работы — произведённые оценки критических размеров структуры и значения параметра несоответствия, сравнение различных структур — позволяют сократить программу экспериментальных исследований, которые требуют значительных финансовых затрат.

Замечания по диссертационной работе в целом

Отмечая высокий уровень работы в целом, грамотный язык изложения, правильное использование терминологии, хорошее качество иллюстративного материала, по работе можно сделать следующие замечания.

- 1) Оформление работы не свободно от недостатков, из которых, прежде всего, стоит отметить чрезмерное количество пунктуационных ошибок в тексте

работы и неудачный стиль оформления подрисовочных подписей, затрудняющий понимание текста. В работе имеются также грамматические ошибки и явные опечатки, хотя и в незначительном количестве.

- 2) Проведённый в работе анализ затрагивает не все возможные случаи. Так, например, во второй главе сравнение двух механизмов релаксации — зарождения прямоугольных и круговых призматических дислокационных петель — произведено только для полых наночастиц и не выполнено для нанопроволок.

Сделанные замечания не носят принципиального характера, не ставят под сомнение полученные в работе результаты и не влияют на положительную оценку работы.

Заключение

Несмотря на сделанные выше замечания, диссертационную работу можно оценить как законченный научно-исследовательский труд, выполненный автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах (8 статей в журналах списка ВАК и базы Scopus), докладывались на многочисленных научных конференциях.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным разделом II положения «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Смирнов Андрей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой математики
Санкт-Петербургского государственного
технологического института
(технического университета)

А. А. Груздков

«24» ноября 2017 г.

Тел.: +7 (911) 288-37-48; email: gruzdkov@mail.ru

190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 26

Подпись А. А. Груздкова заверяю

Ученый секретарь ученого совета
ФГБОУ ВО СПбГТИ(ТУ)



И. Б. Пантелеев