

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Груздкова Алексея Андреевича

на диссертацию Чернакова Антона Павловича

«Круговые призматические дислокационные петли и релаксация напряжений несоответствия в квазиодномерных наногетероструктурах»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа посвящена исследованию релаксации напряжений несоответствия за счёт образования призматических дислокационных петель в квазиодномерных композитных наноструктурах — нанопроволоках типа «ядро-оболочка», внедрённых нанотрубках и сегментированных нанопроволоках. Определяются условия формирования дефектов в зависимости от геометрических параметров структуры и физических свойств материалов.

Актуальность темы

Необычные электронные, оптические, магнитные и механические свойства нанопроволок открывают широкие возможности применения данных структур в разных областях науки и техники, прежде всего в электронике.

Релаксация напряжений, вызванных несоответствием параметров кристаллических решёток или коэффициентов теплового расширения, происходит за счёт формирования дефектной структуры, которая существенным образом влияет на свойства материалов.

Основное внимание ранее уделялось плоским гетероструктурам или наночастицам. Работы, посвящённые релаксации в квазиодномерных структурах, появились относительно недавно. Образование призматических дислокационных петель оценивается как один из наиболее энергетически выгодных механизмов релаксации, однако, полученные в предшествующие годы результаты не обладают достаточной полнотой.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы представляется очевидной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность выводов работы обусловлена применением классических методов теории упругости и теории дислокаций, сопоставлением результатов с известными экспериментальными данными и теоретическими результатами, полученными другими исследователями.

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

Оценка достоверности и новизны результатов

Первая глава диссертации содержит литературный обзор, посвящённый истории вопроса и современному состоянию проблемы. Автор показывает хорошее знакомство с предметом исследования и убедительно обосновывает важность поставленных в диссертационной работе задач. Три последующие главы посвящены различным типам одномерных структур — нанопроволокам типа «ядро-оболочка», внедрённым нанотрубкам и сегментированным нанопроволокам, соответственно.

Во второй главе рассмотрены нанопроволоки типа «ядро-оболочка». Автором найдены новые аналитические решения для полей напряжений, генерируемых петлями дислокаций несоответствия в бесконечном упруго-изотропном цилиндре со свободной поверхностью. Искомые напряжения определяются как сумма двух компонент — напряжений, создаваемых призматической дислокационной петлёй в бесконечном пространстве, и добавочной части, которая позволяет удовлетворить условиям на свободной поверхности. Для первой компоненты используется известное выражение через интегралы от цилиндрических функций, а вторая компонента определяется методом Лурье (рассматривается задача о симметрично нагруженном цилиндре). Для численного нахождения первой компоненты автор предлагает использовать представление интегралов Лифшица-Ханкеля через эллиптические интегралы, для решения второй задачи автор использует преобразование Фурье, приводя подробное описание его пошагового выполнения. Предложенный подход позволяет также определить добавочные перемещения, обусловленные наличием свободной поверхности цилиндра. В результате автору удаётся рассчитать энергию призматической петли и показать степень влияния свободной поверхности цилиндра.

Полученный результат, не является полностью новым, поскольку аналогичный результат был получен в ранее опубликованных работах, однако, полученная автором форма является более удобной. Этого удаётся добиться применением нового подхода. Автор успешно выполняет преобразования интегралов от различных цилиндрических функций (Бесселя, Инфельда, Макдональда), что однозначно свидетельствует о его хорошей математической подготовке и высокой квалификации в области аналитических методов механики.

Остальные результаты второй главы являются полностью новыми. Автору удаётся определить области значений параметра несоответствия и геометрических характеристик, при которых образование дислокационной петли в нанопроволоках «оболочка-ядро» является энергетически выгодным. Ранее аналогичный результат был получен только для прямолинейных дислокаций и для сферических частиц.

К новым результатам относится также полученное решение для парного взаимодействия призматических дислокационных петель и определение равновесного расстояния для бесконечной системы петель. Последний результат подтверждается сравнением с экспериментом.

Третья глава посвящена формированию призматических дислокационных петель в каналах с покрытием. Применяемый метод во многом аналогичен подходу, применяемому в предыдущей главе. Из полученных результатов следует отметить определение критических условий формирования призматических дислокационных

петель несоответствия на границе нанотрубки и матрицы. Определены критические для формирования петли размеры канала и значение параметра несоответствия.

В четвёртой, заключительной, главе диссертации рассмотрены сегментированные нанопроволоки. Расчёты, проведённые автором, показывают, что для любой фиксированной величины несоответствия, которая определяется парой материалов, составляющих сегментированную нанопроволоку, существует критическое значение её радиуса, ниже которого формирование дислокационной петли энергетически невыгодно, причём при увеличении параметра несоответствия критический радиус уменьшается. Верно также и обратное: для любого радиуса сегментированной нанопроволоки существует критическое значение параметра несоответствия.

Таким образом, можно заключить, что применяя удачное сочетание аналитических и численных методов механики, автор получил ряд принципиально новых и интересных результатов, достоверность которых подтверждается сравнением с экспериментальными данными и теоретическими результатами других исследователей.

Значимость для науки и практики

Полученные в работе результаты полезны с точки зрения совершенствования технологий получения композитных наноструктур. Произведённые оценки критических размеров структуры и значения параметра несоответствия позволяют сократить программу экспериментальных исследований, которые требуют значительных финансовых затрат. Результаты работы могут являться основой для практических рекомендаций по выращиванию наноструктур с низкой дефектностью.

Следует отметить значимость полученных в работе результатов, в частности полей напряжений, создаваемой призматическими дислокационными петлями, для развития такого важного направления науки, как механика неоднородных структур.

Замечания по диссертационной работе в целом

Оценивая работу в целом, следует отметить хороший стиль изложения, грамотное использование терминологии, хорошее оформление работы и удачно подобранный иллюстративный материал. По работе, однако, можно сделать ряд замечаний.

- 1) Автор подтверждает достоверность полученных результатов ссылками на экспериментальные и теоретические результаты, полученные другими исследователями. В работе, однако, не всегда приводятся иллюстративный материал, который позволил бы судить о степени соответствия или расхождения результатов.
- 2) В работе не рассматриваются прямолинейные дислокации несоответствия, поскольку они были рассмотрены в ряде предшествующих работ. Однако при определении критических условий зарождения призматических петель было бы интересно сравнить их с условиями зарождения других дефектов, в частности прямолинейных дислокаций. Утверждение, что образование призматических петель энергетически предпочтительней, не находит должного обоснования в работе.
- 3) Как следует из иллюстрации, приведённой в автореферате, сегментированная нанопроволока представляет собой последовательность фаз, границы раздела

которых перпендикулярны оси цилиндра. В четвертой главе, однако, критические условия формулируются только для радиуса проволоки. Влияние размера фаз в работе не обсуждается.

Данные замечания не носят принципиального характера и не влияют на безусловно положительную оценку диссертационной 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 научных журналах (3 статьи в журналах, индексируемых в базах Scopus и WoS), 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, Чернаков Антон Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 1.1.8 — механика деформируемого твердого тела.

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



А. А. Груздков

« 8 » декабря 2022 г.

Тел.: +7 (812) 494-92-32; email: gruzdkov@mail.ru

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

Подпись Груздкова Алексея
Александровича
Начальник отдела кадров

В. Смирнова М. В.

