

ОТЗЫВ

официального оппонента Ломаева Михаила Ивановича на диссертационную работу Нгуен Ван Ву «Генерация самосфокусированных сильноточных электронных пучков и их взаимодействие с конденсированными средами» по специальностям 1.3.18 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и 1.3.8 – Физика конденсированного состояния на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Актуальность темы диссертационной работы

Интерес к изучению филаментации и самофокусировки электронных пучков в вакуумных и газовых диодах обусловлен, прежде всего, возможностью увеличения – до 10^{11} Вт/см² плотности мощности электронных пучков при их самофокусировке, что может быть использовано для генерации высокоионизованной плазмы и мощного рентгеновского излучения, при изучении вещества при повышенном давлении, в радиационной химии и физики твердого тела и других областях науки и техники. Актуальность проведенных автором диссертационной работы исследований обусловлена, во-первых, отсутствием к настоящему времени исчерпывающего объяснения физических причин самофокусировки пучка электронов при токе пучка не более ≈ 2 кА, во-вторых, возможностью использования самосфокусированного пучка ускорителя ГИН-600 при изучении взаимодействия пучка с твердыми телами, что имеет важное практическое значение.

Научная новизна

В диоде ускорителя ГИН-600, использовавшегося при проведении экспериментов, зарегистрированы филаментированные электронные микропучки с энергией электронов 50-100 кэВ и плотностью мощности до 10^{10} Вт/см², фокусирующиеся на аноде в пятно с диаметром ~ 1 мм. Определены параметры самосфокусированного сильноточного электронного пучка, выведенного в пространство за анодом. Установлено, что за анодным электронным пучком состоит из низкоэнергетической и высокоэнергетической составляющих, в которых плотности мощности и энергии электронов достигают $\sim 10^{10}$ Вт/см², 50–100 кэВ и $\sim 2 \cdot 10^7$ Вт/см² и ~ 290 кэВ, соответственно.

При воздействии электронного пучка на полиметилметакрилат установлено, что при плотности мощности пучка, не превышающей порог абляции, из-за локального нагрева среды и появления газообразных веществ, давление которых вызывает упругопластическую деформацию, в приповерхностной области образца на глубине 40–80 мкм формируется необратимая пластическая деформация в виде микропузырьков с размерами 10–50 мкм. При плотности мощности электронного пучка выше порога абляции полиметилметакрилата наблюдался выброс плазмы и жидких капель из кратера с формированием на поверхности образца «короны» из полимерных нитей.

Установлено, что при воздействии самосфокусированного электронного пучка на монокристаллы ZnSe (O) и Pb с плотностью мощности выше порога абляции вещества происходит выброс плазмы из кратера и формирование на алюминиевой подложке нанокристаллов селенида цинка со структурой сфалерита с размерами 2–12 нм и наночастиц свинца с размерами 25–60 нм.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выносимые на защиту научные положения вполне обоснованы результатами экспериментальных исследований и корректных математических расчетах. Эксперименты проведены с использованием современного диагностического, технологического и измерительного оборудования. Выявленные закономерности подтверждены экспериментальными результатами. Полученные автором экспериментальные данные согласуются между собой и сопоставимы с данными других исследователей. Выводы и заключения непротиворечивы, последовательны и отражают суть проведенных исследований.

Научная и практическая значимость полученных результатов

Новые данные о явлениях филаментации и самофокусировки электронных пучков в диоде с холодным взрывоэмиссионным катодом в форвакуумной области давлений и о процессах, развивающихся в конденсированных средах при облучении высокоинтенсивными электронными пучками, определяют научную значимость диссертационной работы.

Практическая значимость полученных результатов сводится, прежде всего, к возможности использования самософокусированных электронных пучков для решения ряда современных научно-технологических задач.

Анализ содержания работы. Соответствие требованиям, предъявляемым к диссертациям

Во введении обоснованы актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели, задачи и защищаемые положения, приведено краткое описание и общая характеристика работы.

В главе 1 приведен литературный обзор по теме диссертации, в котором рассмотрены известные механизмы самофокусировки и филаментации сильноточных электронных пучков в вакуумных диодах, рассмотрены физические процессы в твердых телах при их облучении электронными пучками.

Во второй главе описаны методики эксперимента и объекты исследования, конструкция ускорителя ГИН-600, его характеристики, геометрические параметры вакуумного диода и конструкции катодов, использовавшихся при проведении экспериментов.

В третьей главе приведены результаты исследования процессов филаментации и самофокусировки электронных пучков в вакуумном диоде ускорителя ГИН-600, представлены результаты оптимизации параметров вакуумного диода с плоским анодом, позволяющего формировать электронные пучки с плотностью мощности 10^9 — 10^{10} Вт/см².

В четвертой главе описаны результаты исследования влияния плотности мощности электронного пучка на морфологию разрушения полиметилметакрилата.

В пятой главе представлены результаты по электронно-пучковой абляции твердых тел различных классов - металлов, полимеров и полупроводников.

В Заключение подведены итоги исследования и сформулированы выводы по диссертации.

Личный вклад автора

Постановка цели и задач исследования были выполнены совместно с научным руководителем. Расчёты и измерения были выполнены лично или при участии автора в лабораториях отделения материаловедения ИШНПТ ТПУ. Обработка и анализ результатов исследований, формулировка основных защищаемых положений и выводов выполнены лично автором.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. На странице 8 диссертации при описании процессов филаментации и самофокусировки используется, на мой взгляд, неудачное выражение «быстротемпные явления» вместо общепринятого «быстропротекающие процессы».
2. На странице 8 диссертации при перечислении задач исследования используется неудачное выражение «теоретический анализ литературных данных».
3. На странице 10 диссертации используется выражение «самофокусировка со скоростью 1,5 мм/нс», не отражающее суть процесса самофокусировки электронного пучка. На мой взгляд, более корректно указать величину угловой скорости изменения траектории движения микропучков относительно продольной оси диода.
4. На странице 10 диссертации в качестве причины самофокусировки микропучков указано «образование вблизи катода нескомпенсированного положительного заряда, который играет роль виртуального анода». В то же время, в работе не приводятся обоснования, как наличия «нескомпенсированного положительного заряда вблизи катода» в условиях проведенного эксперимента, так и их идентичности с условиями экспериментов в работах, в которых впервые было высказано данное утверждение.
5. На странице 65 диссертации используется неудачное выражение «зависимость суммарной (за время регистрации) интенсивности свечения» вместо общепринятого «спектральной плотности энергии излучения».
6. На странице 72 диссертации вместо необходимого « $U_{max} = 400$ кВ» написано « $U_{max} = 400$ кэВ», не указаны единицы измерения критического тока $I_{кр}$.
7. На странице 84 диссертации ошибочно указывается, что «В экспериментах на ускорителе ГИН-600 впервые появляется возможность изучить влияние длительности импульса тока электронного пучка на самофокусировку в диапазоне от 2 до 12 нс», поскольку ранее были проведены подобные эксперименты с длительностью тока пучка от долей до нескольких наносекунд на ускорителе РАДАН 220.
8. На странице 92 диссертации отмечается, что «Увеличение энергии и плотности тока убегающих электронов приводит к росту температуры

плазмы ...». В связи с этим возникает вопрос о том, что имеется в виду под «температурой плазмы».

9. На странице 96 диссертации ошибочно указывается, что причиной того, что «Зарегистрировать ток пучка при давлении воздуха в диоде более 0,14 Торр за алюминиевой фольгой, толщиной 30 мкм не удалось» является «недостаточное временное разрешение применяемого нами осциллографа (300 МГц)». Физической причиной отсутствия пучка в данных условиях является уменьшение напряжения пробоя при указанных давлениях.

Отмеченные недостатки не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

Заключение

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что диссертация «Генерация самосфокусированных сильноточных электронных пучков и их взаимодействие с конденсированными средами» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, а Нгуен Ван Ву заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.18 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник
лаборатории оптических излучений
Федерального государственного бюджетного
учреждение науки Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук

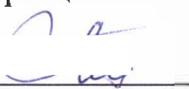


/ М.И. Ломаев /

Дата « 22 » ноября 2023 г.

Россия, 634055, Томская обл., г. Томск,
пр-кт Академический, 2/3,
тел. +7 87
Lomaev@loi.hcei.tsc.ru

Я, Ломаев Михаил Иванович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



/ М.И. Ломаев /

Подпись Ломаева М.И. удостоверяю
Ученый секретарь ИСЭ СО РАН
к.т.н.



/ О.В. Крыгина /