

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации П.Ю. Бабенко «Торможение, рассеяние и распыление при столкновении атомов кэВ энергий с твердым телом», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника.

**Актуальность** представленной к защите работы определяется развитием представлений о взаимодействии атомных частиц с энергиями менее 100 кэВ с веществом, в частности, получением данных о потенциалах взаимодействия, разделением вклада ядерной и электронной составляющей в торможение налетающих атомов и ионов, развитием методов расчета коэффициентов отражения и распыления при бомбардировке твердого тела с учетом развиваемых представлений о потенциалах взаимодействия и электронных потерях энергии, моделированием процессов радужного рассеяния атомов на поверхности кристаллов в диапазоне энергий от нескольких эВ до нескольких десятков эВ, разработкой модели, описывающей коэффициент распыления и среднюю энергию распыленных частиц от энергии соударения для столкновений легких частиц с тяжелой мишенью в припороговой области. **Практическая значимость** определяется изучением столкновений изотопов водорода, гелия и ионов примесей в пристеночной области токамака-реактора, в котором могут быть использованы такие перспективные материалы, как бериллий и вольфрам, разработкой и оптимизацией методов низкоэнергетической ионной имплантации, использованием данных по коэффициентам распыления различных мишеней ионами инертных газов, таких как аргон и неон, широко используемых в ионно-плазменных методах осаждения и формирования тонкопленочных слоев и покрытий.

Проведена большая работа по разработке алгоритмов расчета траекторий движения атомов при соударениях, позволяющая проводить расчеты с любым угловым и энергетическим разрешением, рассчитанных на использование мощности персонального компьютера за приемлемое время. Адекватный выбор моделей потенциала межатомного взаимодействия и модели торможения, и их экспериментальная проверка позволили повысить достоверность полученных результатов и показать, что компьютерное моделирование может быть эффективно использовано, в частности, для решения задач по рассеянию частиц на поверхности, распылению мишеней при ионной бомбардировке, прохождению атомов через тонкие пленки.

Автором получен целый ряд **новых и оригинальных результатов**, связанных, в значительной степени, с ролью электронной подсистемы в неупругих потерях за счет возбуждения автоионизационных состояний и образования вакансий в различных электронных оболочках при столкновении атомов. Показано, что динамическая ионизация и оже-переходы в квазимолекуле вносят определяющий вклад в непрерывную составляющую в спектрах электронов при атомных столкновениях. Установлено влияние электронов металла при прохождении частиц через пленку (золота) на изменение экранировки потенциала, важен учет значительного вклада кинетической энергии быстрых эмитируемых электронов в сечения электронного торможения для случая р-He и р-Ar. В частности, следует отметить высокий уровень расчетов рассеяния частиц инертных газов и физического понимания происходящих процессов в случае поверхностного каналирования, позволивших достаточно точно описать угловые

зависимости выхода рассеянных частиц и эффект радужного рассеяния, оценить величины амплитуд тепловых колебаний поверхностных атомов и вклад взаимодействия налетающего атома с электронами металла.

**Достоверность** полученных результатов определяется непротиворечивостью полученных результатов с имеющимися литературными данными по теме исследования, развитием их на базе современных представлений о процессах столкновений частиц в твердом теле, использованием надежных алгоритмов и программ моделирования. По результатам работы опубликовано 50 научных статей в ведущих отечественных и международных научных журналах, апробация работы подтверждена множеством докладов, в том числе, приглашенных, на профильных всероссийских и международных конференциях и семинарах.

Автореферат позволяет получить достаточно полное представление о проделанной соискателем работе. Материалы, изложенные в автореферате, позволяют сделать заключение о высоком научном уровне работы и значительном вкладе в развитие научного направления, связанного с взаимодействием атомов (или ионов) средних энергий с твердым телом. Автореферат хорошо структурирован и оформлен.

Считаю, что работа полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней ФТИ им. А.Ф. Иоффе к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор - П.Ю. Бабенко заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника.

Пронин Игорь Петрович

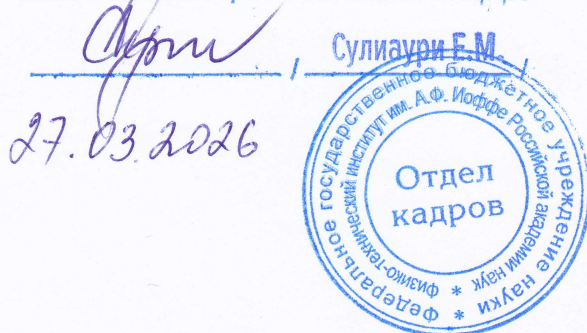
доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики сегнетоэлектричества и магнетизма ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Почтовый адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Телефон: (812) 514-39-87

e-mail: Petrovich@mail.ioffe.ru

Подпись Сулиаури Е.М. удостоверяю  
зав.отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе



/И.П. Пронин/