

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, старшего преподавателя

Задорожного Сергея Сергеевича

о диссертации **Серегинной Елены Владимировны**

«Использование проекционного метода для математического моделирования стохастического распределения неосновных носителей заряда в полупроводниковых материалах»,

представленной в диссертационном совете Д 002.024.03

при Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Цель работы: решение задачи статистического анализа диффузии неосновных носителей заряда (ННЗ) проекционным методом с учетом случайной составляющей в электрофизических параметрах полупроводника (времени жизни, коэффициенте диффузии и скорости поверхностной рекомбинации ННЗ) и проведение вычислительного эксперимента по выявлению закономерностей в результатах развития стохастического процесса диффузии ННЗ по глубине полупроводникового материала.

Актуальность избранной темы, ее научная новизна и практическая значимость обусловлены, прежде всего, недостаточной изученностью влияния случайных изменений электрофизических параметров полупроводников на результат диффузии ННЗ, что в свою очередь может быть использовано при проектировании изделий электронной техники, а также сравнительно малой обоснованностью проекционных методов, применяемых для решения подобных задач математического моделирования. В этом смысле тема диссертационного исследования Серегинной Е.В. является, несомненно, актуальной, имеет большую научную новизну и практическую значимость.

Основные задачи работы и их реализация. Для достижения поставленной в работе цели были сформулированы конкретные задачи исследования, достаточно подробно описанные в тексте диссертационной работы. Для их реализации была разработана схема проекционной аппроксимации стохастической модели диффузии ННЗ; дана порядковая оценка погрешности и получено условие вычислительной устойчивости для этой схемы. Построены сходящиеся матричные ряды и рассмотрена оптимизация ско-

рости сходимости итерационных процессов, аппроксимирующих проекционные характеристики математического ожидания и автокорреляционной функции распределения ННЗ по глубине. С помощью разработанного программного обеспечения проведен вычислительный эксперимент по исследованию влияния случайной составляющей в электрофизических параметрах на распределение неравновесных ННЗ в полупроводниковых материалах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна. Научные положения, а также выводы, сформулированные в работе, их достоверность и научная новизна довольно хорошо аргументированы и обоснованы как результатами собственных исследований диссертанта, так и согласием полученных автором результатов с имеющимися опубликованными данными работ по рассматриваемой тематике. В то же время с использованием проекционного метода был предложен и обоснован универсальный подход к решению задачи статистического анализа на примере математической модели, описываемой уравнением диффузии со случайными электрофизическими параметрами.

Замечания и пожелания.

По мнению оппонента, работа не лишена недостатков. Ниже указаны некоторые из них:

- 1) Во введении не достаточно подробно пояснена терминология используемого проекционного метода. Указано только, что он основан на теории матричных операторов.
- 2) Следует заметить, что в диссертации предлагается метод мнк, который минимизирует невязку уравнения и граничных условий (см. формулу на стр. 43 диссертации), в то время как интерес представляет точность определения $\Delta p(z)$. В результате не представляется возможным оценить итоговую погрешность величины $\Delta p(z)$. Подходы и методы, в которых минимизируется точность определения искомых параметров, разработаны проф. Ю.П.Пытьевым в теории оценок минимальной дисперсии в математической статистике и в теории измерительно-вычислительных систем.
- 3) На странице 35 диссертации в выражении для плотности энергии $\rho^*(z)$ во-первых, не дается пояснение для множителя P_0 . Во-вторых, не объясняется способ вычисления величины z_{ms} , а только дается ссылка на статью в зарубежном журнале. В-третьих, непонятно, почему не приводится явно выражение для скорости генера-

ции электронно-дырочных пар (функции $\rho(z)$), находящейся в правой части уравнения диффузии ННЗ (1.21). Функцию $\rho(z)$ автор предлагает определить из соотношения для плотности энергии $\rho^*(z)$, которое в работе представлено в виде формулы. Последнее замечание касается и автореферата.

- 4) Не указаны ограничения о применимости математической модели для плотности энергии $\rho^*(z)$ (не понятно для какого класса материалов, и какого диапазона энергий первичных электронов может быть использована эта модель).
- 5) На странице 41 неудачно назван раздел 2.1. Более корректным и адекватным было бы название «Постановка задачи проекционной аппроксимации, основанной на применении модифицированного метода наименьших квадратов». Аналогично раздел 2.4. следовало бы назвать «Постановка задачи проекционной аппроксимации, основанной на применении классического метода наименьших квадратов». Также раздел 2.2. следовало бы назвать «Условие сходимости метода».
- 6) Имеются мелкие опечатки (на странице 6 диссертации дважды подряд написано «целью работы», на странице 107 опечатка в коэффициентах поглощения: должно быть написано α_1 вместо α).
- 7) Представляет интерес применение предложенного подхода к многомерной модели диффузии. Это позволило бы расширить область применимости предлагаемых методов.

Вместе с тем представленный в диссертационной работе материал позволяет сказать, что имеющиеся в ней недостатки имеют частный характер и не могут повлиять на высокую ценность выполненных исследований.

Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Диссертация Серединой Е.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний (информатики, вычислительной математики и вычислительной техники, в т.ч. математического моделирования, численных методов и комплексов программ).

Диссертация написана единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором решения аргументированы и критически оценены по сравнению с другими извест-

ными решениями. В диссертации имеются рекомендации о возможностях практического использования разработанных методов. Оформление диссертации соответствует требованиям, установленным Министерством образования и науки РФ.

Результаты диссертационной работы доложены на 19-ти научных конференциях и на 5 научных семинарах по теме работы, основное содержание диссертации опубликовано в 19 научных работах, в т.ч. в 8 статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

В тексте диссертации даются ссылки на авторов и источники, из которых диссертант заимствует материалы или отдельные результаты; в списке литературы указаны ссылки на 144 источника. В диссертации отмечены соавторы, идеи и разработки которых использованы при выполнении работы.

В автореферате сформулирована актуальность проблемы, цель и основные задачи работы, изложены научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту, показан вклад автора в проведенное исследование, имеется информация о публикациях результатов работы, описаны структура и объем диссертации, и краткое содержание работы по главам, а также основные результаты и выводы диссертации. Автореферат и опубликованные научные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Таким образом, диссертация Серегинной Е.В. отвечает основным критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

ВЫВОД: на основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Серегиной Елены Владимировны «Использование проекционного метода для математического моделирования стохастического распределения неосновных носителей заряда в полупроводниковых материалах», удовлетворяет всем требованиям Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Серегина Е.В. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,

старший преподаватель кафедры
компьютерных методов физики
физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,
кандидат физико-математических наук

С.С. Задорожный

« ____ » января 2015 г.

Декан Физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова, профессор

Сысоев Н.Н.