

**Отзыв официального оппонента
о диссертации СЕРЕГИНОЙ ЕЛЕНЫ ВЛАДИМИРОВНЫ**

**" ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИОННОГО МЕТОДА
ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СТОХАСТИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА
В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛАХ",**

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

Диссертационная работа Е. В. Серегиной посвящена разработке и обоснованию приближенного решения модельной задачи стационарной диффузии неосновных носителей зарядов (ННЗ) в полупроводнике методом наименьших квадратов для невязки обыкновенного линейного неоднородного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами с учетом случайной составляющей в исходных электрофизических параметрах полупроводника. Задача рассматривается в полубесконечной области по глубине полупроводника с однородными краевыми условиями третьего рода в начале координат и асимптотическим стремлением решения к нулю при стремлении пространственной координаты к бесконечности. Автором диссертации разработан приближенный проекционный метод и программы для его численной реализации. Рассматриваемая в диссертационном исследовании задача примыкает к вопросам асимптотического поведения решений эквивалентной системы двух уравнений первого порядка в окрестности гиперболической особой точки, где вычислительные методы традиционно теряют устойчивость. Метод наименьших квадратов для приближения решений модельного уравнения распределения ННЗ, предложенный автором, восходит к идеям регуляризации

некорректных задач академика А. Н. Тихонова. Для обеспечения вычислительной устойчивости при больших значениях аргументов необходимо жесткое согласование характеристик источника зарядов по глубине полупроводника и данных на его внешней поверхности, чтобы удовлетворить требованию асимптотики решения вглубь полупроводника по отношению к постоянно действующим возмущениям.

Задачам построения приближений в условиях гиперболической неустойчивости посвящено значительное количество публикаций, отражающих интерес научной общественности к данной тематике. Таким образом, актуальность темы диссертации сомнений не вызывает.

Автором диссертационного исследования получены следующие новые результаты:

1) Предложена математическая модель, описывающая стационарное распределение неравновесных ННЗ по глубине полупроводника в результате их одномерной диффузии, и выполнено ее исследование на основе оригинальной проекционной аппроксимации на подпространство стремящихся к нулю функций (многочленов Лагерра).

2) Установлена оценка погрешности и получено условие вычислительной устойчивости для этой проекционной схемы.

3) Разработан подход к решению задачи статистического анализа для математической модели, описываемой стационарным уравнением диффузии со случайными электрофизическими параметрами.

4) Разработаны программы для реализации проекционного метода в случае стационарной диффузии зарядов в неограниченном модельном полупроводнике.

Обратимся к содержанию диссертации. Она состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения.

Введение посвящено обзору литературы и существующим подходам к моделируемому процессу.

Глава 1 носит подготовительный характер для дальнейшего исследования, подробно обсуждаются основные положения теории рядов Фурье-Лагерра и матричный оператор дифференцирования в базисе многочленов Лагерра. Приведены математические модели диффузии неосновных носителей заряда в полупроводниковых материалах.

В главе 2, носящей центральный характер в диссертации, исследуется проекционная аппроксимация модели коллективного движения носителей заряда, основанная на применении модифицированного метода наименьших квадратов; выявляются условия сходимости. Исследуется влияние погрешностей и условие вычислительной устойчивости.

Глава 3 в основном посвящена построению сходящихся матричных рядов, аппроксимирующих проекционные характеристики математического ожидания и автокорреляционной функции распределения неосновных носителей заряда по глубине полупроводника. Рассмотрены оптимизационные процедуры вычислений.

В главе 4 автор выполнил исследование влияния случайных составляющих в электрофизических параметрах на распределение носителей заряда по глубине полупроводника при использовании модели коллективного движения и провел сравнительный анализ с другим подходом.

Разработанные программы апробированы. Тексты программ приведены в приложении.

Заключение содержит краткий перечень основных результатов диссертационной работы.

Основные научные положения диссертационной работы Е. В. Серегиной неоднократно докладывались научной общественности, своевременно

опубликованы, автореферат соответствует диссертации. Полученные Е. В. Серегиной научные результаты являются новыми, достоверными и относятся к актуальной области современного математического моделирования.

Автореферат диссертации полно отражает содержание и результаты диссертации. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах.

Суммируя общее впечатление о представленной работе, можно констатировать, что автором предложены аналитические и численные методы исследования модели динамики зарядов в модельном полупроводнике, имеющих прикладное значение.

Подводя итог содержательной части диссертационного исследования Е. В. Серегиной, можно сказать, что в диссертации предложен эффективный инструмент исследования, который может быть перенесен на более широкий круг задач.

В ходе выполнения исследования автор проявил оригинальность подхода к исследуемой проблеме.

Однако диссертация не лишена недостатков.

- 1) Рассматриваемое автором обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка имеет явно отыскиваемое общее решение в виде линейной комбинации двух экспонент (убывающей и возрастающей) и их свертки с плотностью источника зарядов; поэтому следовало бы привести подробный анализ корректности и вычислительной устойчивости рассматриваемой краевой задачи с обзором соответствующей литературы.
- 2) В исследовании отсутствует анализ предельного поведения правой части формулы (1.26) при неограниченном возрастании аргумента z . Это выражение не всегда стремится к нулю на бесконечности.

- 3) Автору следовало бы указать условия существования минимума функционала J в методе наименьших квадратов и выявить имеет ли место сходимость минимизирующей последовательности к точному решению задачи. В частности, полезно провести сравнение минимизирующей последовательности с каким-либо точным решением задачи.
- 4) На стр. 76 автор предполагает, что случайное время жизни ННЗ имеет нормальное распределение. Но эта физическая величина принимает только неотрицательные значения. Предполагает ли автор в своем исследовании использование отрицательных значений для времени жизни ННЗ, что влечет, вообще говоря, отсутствие решений краевой задачи?

Отмеченные недостатки не снижают большого объема исследовательской работы, проведенной автором диссертации. Считаю, что диссертационная работа Серегинной Елены Владимировны удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.18 - «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физ.-мат. наук,
профессор
В.А.Галкин

Подпись Галкина Валерия Алексеевича «заверяю»
Учёный секретарь, профессор
Н.В. Кузьмина

