

## ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИНТЕРНЕТ СРЕДЕ

*В.В. Нелаев, М. Найбук, Т. Бречко, А.А. Тамело, Д.Ф. Молодкин*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,*

*Университет в Белостоке, Белосток, Польша, najbuk@ii.uwb.edu.pl*

Abstract. Description of the module for calculation and design in microelectronics via Internet is presented. Module is used in Belarusian and Poland universities and abroad in lecture courses and computer training works in the frame of disciplines devoted to design in microelectronics.

Построение адекватных моделей, описывающих процессы взаимодействия электронов с объектами сложной геометрии и внутренней структуры на основе первых физических принципов имеет большое значение во многих приложениях физической электроники. Особую важность в этой области приобретает задача развития методов диагностики перспективных материалов, позволяющих определять эмиссионными методами параметры исследуемых объектов с нанометровым разрешением.

Исходным пунктом при таком моделировании переноса частиц в веществе является кинетическое уравнение Больцмана, описывающее процесс транспорта с использованием сечений упругого и неупругого рассеяния. Попытки аналитического решения кинетического уравнения на основе первых принципов и без введения в теорию подгоночных параметров неоднократно предпринимались, начиная с ранних работ Г. Бете, и по настоящее время, однако до сих пор не привели к успеху. Для количественного описания основных эффектов, требуется адекватное физическое моделирование переноса электронов дифференциальными уравнениями с соответствующими задаче начальными и граничными условиями.

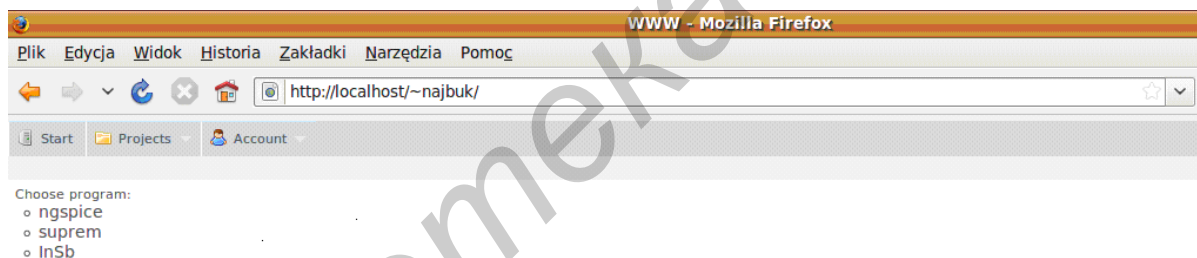
В данной работе представлена модель процесса переноса и эмиссии электронов, реализуемая в методе Монте-Карло (М-К) с использованием сечений взаимодействия электронов средних энергий с веществом. Электроны в полупроводниках при наличии внешнего электрического поля движутся согласно уравнению движения и рассеиваются в случайные моменты времени в соответствии с определенными вероятностями. Моделирование такого поведения электронов с применением случайных чисел для розыгрыша процессов рассеяния и времен свободного пробега в соответствии с вероятностями называется моделированием кинетических явлений методом Монте-Карло. Выбор метода Монте-Карло для моделирования переноса электронов средних энергий обусловлен несколькими причинами. Во-первых, данный метод можно рассматривать как один из способов численного решения кинетического уравнения Больцмана. Во-вторых, с помощью метода Монте-Карло можно рассчитать практически любую характеристику переноса и эмиссии. Следовательно, этот метод позволяет восполнить недостаток экспериментальных данных, либо выступить в качестве «вычислительного» эксперимента, если какая-либо характеристика не может быть определена на практике, как например, распределение электронов по полным пробегам. К недостаткам метода можно отнести то, что результат, полученный с помощью случайных чисел, никогда не является точным, он статистически сходящийся, и точный результат лежит с известной вероятностью в известном интервале, а также нужно отметить, что метод Монте-Карло является ресурсоемким процессом вычислений.

Для проведения ресурсоемких вычислений методом Монте-Карло электронных свойств полупроводникового материала антимонида индия (InSb) желательно использовать суперкомпьютеры, ГРИД-системы, а также перспективные облачные вычисления (Cloud Computing).

**Ресурсоемкие вычисления с применением технологии облачных вычислений.** Технология Cloud Computing исключительно перспективна для проведения компьютерного моделирования в режиме удаленного доступа. Основным составляющим облачных вычислений является Ресурсоемкий центр вычислений (РЦВ). В этом Центре размещаются программные комплексы со всеми своими атрибутами - препроцессорной системой подготовки заданий, процессорной системой выполнения заданий (проведения вычислительных операций) и постпроцессорной системой вывода полученной информации в цифровой и графической формах. Пользователь должен только сформулировать собственную вычислительную задачу, введя необходимые числовые данные и запустить ее на счет. Решение задачи ему будет предоставлено по окончании вычислений. Комфорт пребывания посетителя в Центре должны обеспечивать специальные сервисы клиентской поддержки.

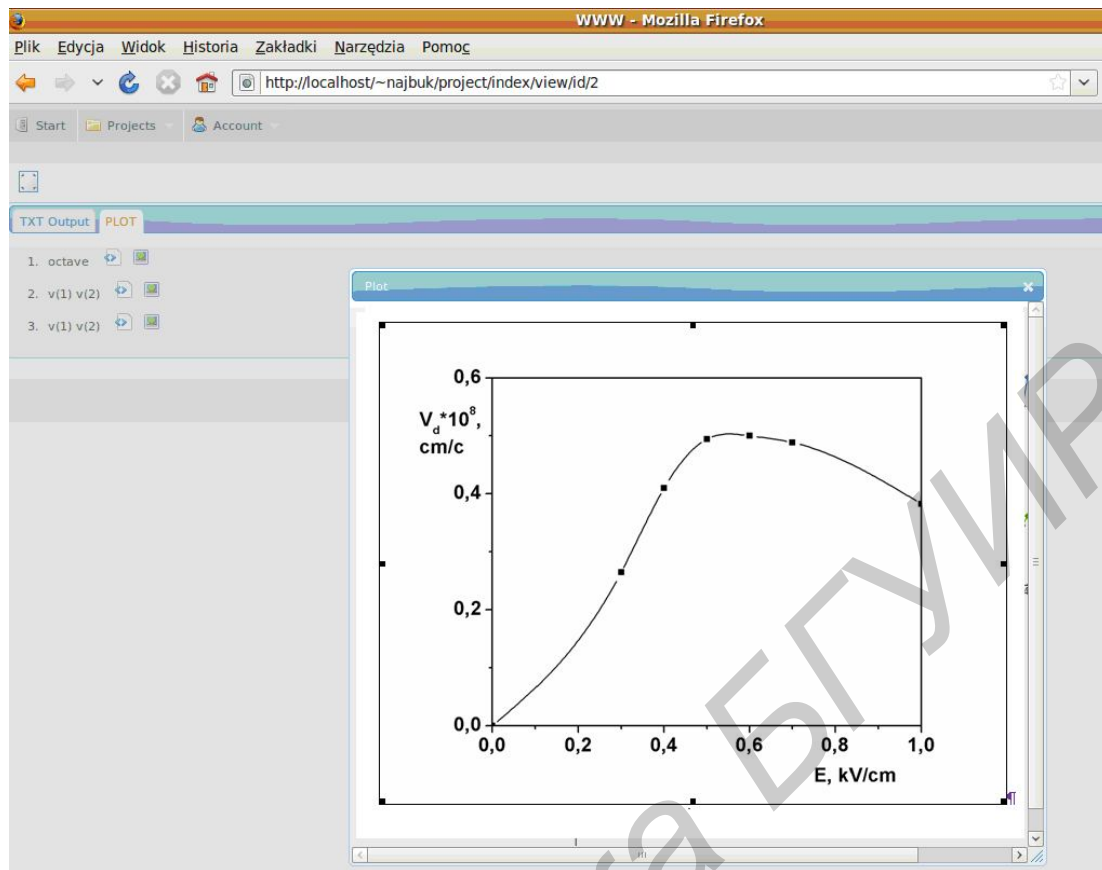
В предлагаемой работе рассматривается прототипный комплекс для расчета электронных свойств InSb – популярного соединения, используемого в полупроводниковых приборах - методом Монте-Карло в режиме удаленного доступа с использованием технологии облачных вычислений [1-4].

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке 1 представлена заглавная страница РЦВ, которая находится по адресу <http://kim.uwb.edu.pl>.



**Рисунок 1** - Главное окно РЦВ - выбор программы для моделирования.

После выбора программы, необходимой для данного варианта для моделирования (здесь - InSb), и ввода входных параметров формы с заданием на моделирование необходимо отправить в РЦВ. При этом содержание формы считывается и записывается во временный файл. Результаты расчетов записываются в выходной файл, который далее используется программой GnuPlot – графическим постпроцессором, предназначенном для построения и сохранения в формате PNG графических представлений результатов моделирования (см. рис. 2.).



**Рисунок 2** - Окно РЦВ с результатами моделирования в программе InSb в виде графиков. В данном примере приведена зависимость дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля

Разработан ресурсоемкий центр вычислений для организации проектирования в области микроэлектроники в глобальной сети Интернет. Программная часть комплекса как средства для проектирования в режиме клиент-сервер основана на использовании современных инструментов и языков информационной технологии. Основой комплекса как средства проектирования в области микроэлектроники является программа InSb, предназначенная для расчета основных характеристик и параметров, определяющих особенности электронного переноса в InSb: дрейфовая скорость электронов, распределение энергий, коэффициент диффузии.

#### *Литература*

1. Najbuk M., Nelayev V. Internet-based learning and design in microelectronics // Proc. Int Conf. «e-learning jako metoda wspomagajaca proces kształcenia», Gdańsk, Poland, 2006. P. 72–76.
2. Brezko T., Najbuk M., Vladislav V., Learning and design via Internet, 14<sup>th</sup> International Conference on Information and Software Technologies, IT 2008, Kaunas, April 24-25, 2008. P. 159-161.
3. Найбук М.Н., Нелаев В.В. Программно-аппаратный модуль GUI-SUPREM III для проектирования и обучения в глобальной сети Интернет технологии в микроэлектронике, // Доклады БГУИР, Минск, 2007, №4 (20). P. 136-164.
4. Найбук М.Н. Internet-обучение технологии в микроэлектронике с использованием программного модуля GUI-SUPREM III // Материалы V международной научно-методической конференции «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века», Минск, 2005. С. 92–95.