

## ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Моделирование сети и тестирование алгоритма показало, что хоть алгоритм работает корректно в большинстве сетевых сценариев, связанных с отключением и перемещением файлов, все же модель оказалась медленно работающей. Это связано с большой загрузкой каждого узла, так как в виду упрощенной нами маршрутизации и отсутствия алгоритмов ДМ, каждому узлу приходится постоянно самостоятельно проверять состояние других устройств, которые хранят распределенные фрагменты. За 20 секунд в модели каждый узел проводит порядка  $10^6$  проверок состояний, что несомненно существенно загружает модель. Таким образом, самое сильное ограничение на модель накладывает именно построение и поиск маршрутов. Поэтому, первоочередной задачей при дальнейшем проектировании будет имплементация реактивного протокола динамической маршрутизации в модель.

### Литература

1. *Адуцкевич И.* Анализ протоколов динамической маршрутизации в беспроводных ячеистых сетях / И. Адуцкевич, В. Садов // Инженер. вестн. 2006. № 1/2. С. 117–124.
2. *Hekmat R.* Ad-hoc Networks fundamental properties and network topologies. Delft, 2006.
3. *Subramanian R.* Peer-to-peer computing: The Evolution of a Disruptive Technology / R. Subramanian, B. Goodman. Hershey, PA, USA, 2005.
4. *Vogel L.* Dijkstra's shortest path algorithm in Java Tutorial [Электронный ресурс]. Режим доступа к источнику:  
<http://www.vogella.com/tutorials/JavaAlgorithmsDijkstra/article.html>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ GAAS МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

**И. С. Новиков**

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что метод статистического моделирования или Монте-Карло в настоящее время является одним из наиболее перспективных численных методов моделирования современных полупроводниковых приборов и приборных структур микро- и наноэлектроники. Этот метод, применительно к полупроводниковым приборам впервые был предложен Куросавой в 1966г и являлся одночастичным методом для расчёта стационарных процессов в полупроводниках [1]. Он позволил отказаться от использования прямого решения кинетического уравнения Больцмана

и сопутствующих такому решению трудностей, и поэтому получил широкое распространение как более гибкий и более эффективный подход, позволяющий учитывать наиболее близкую к действительности зонную структуру полупроводника и все основные механизмы рассеяния носителей зарядов в нём.

Следует отметить, что в последнее время наблюдается значительный прогресс в области численного моделирования полупроводниковых приборов и ИС для самых различных применений. Разработаны и используются коммерческие симуляторы Silvaco, Synopsys и др., в состав которых начинают включаться программы моделирования методом Монте-Карло.

Целью настоящей работы является разработка оригинальной модели дрейфа электронов в объёмном n-GaAs и реализующих её многочастичного алгоритма Монте-Карло и компьютерной программы для изучения особенностей поведения носителей заряда в этом полупроводнике в сильных электрических полях. Программный продукт был реализован на языке программирования C++.

## **МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА**

Построенная модель дрейфа включала перенос электронов в  $\Gamma$ -, L- и X- долинах. Общее описание алгоритма моделирования движения электронов в объёмном GaAs с помощью многочастичного метода Монте-Карло дано в работах [3; 4]. В разработанной модели учитывались следующие механизмы рассеяния: рассеяния на полярных оптических и акустических фононах, а также на ионизированной примеси [2].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЯ**

Проведённое моделирование позволило для каждого электрона получить следующие кинетические параметры: скорость вдоль направлений X, Y, Z, и номер долины, в которой он находится. Это дало возможность рассчитать среднюю дрейфовую скорость всего ансамбля электронов в зависимости от напряжённости приложенного электрического поля для конкретной температуры и заполняемость электронами той или иной долины как функцию величины приложенного поля. Результаты проведённых расчётов представлены на рис. 1–3.

Для подтверждения адекватности разработанной модели, полученные результаты сравнивались с результатами исследований других авторов (см. рис. 1) [1; 3].

Объяснение того, что дрейфовая скорость перестаёт расти и начинает падать при увеличении напряжённости поля после  $3,5 \cdot 10^5$  В/м (см. рис. 1), заключается в том, что всё большее число частиц начинают переходить из  $\Gamma$ -долины в L-долину (см. рис. 2). Данное явление лежит в основе известного эффекта Ганна [2].

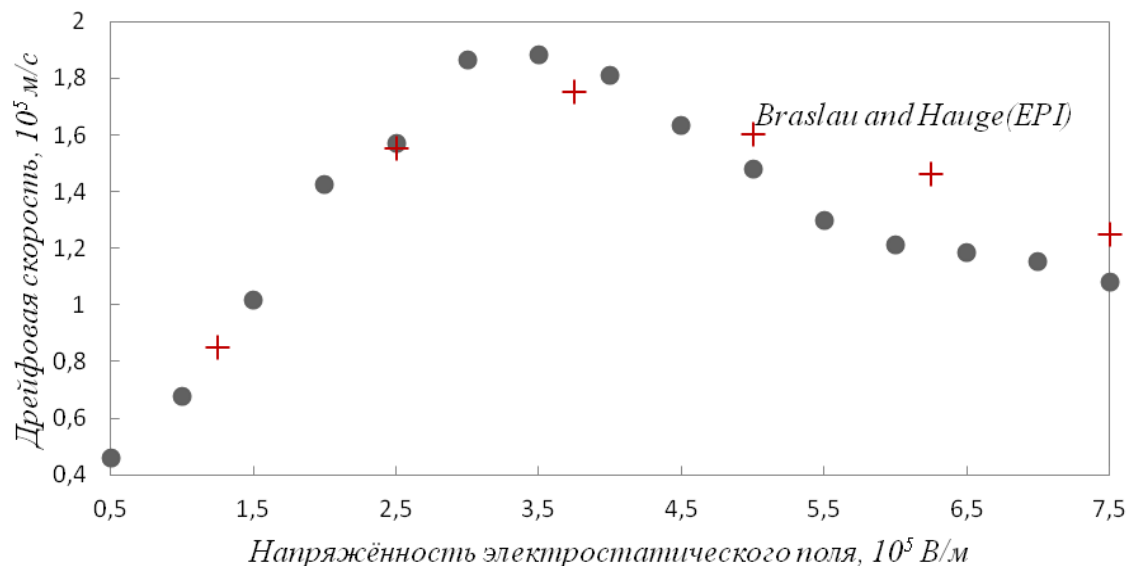


Рис. 1. Зависимость дрейфовой скорости электронов от напряжённости электростатического поля при 300К  
Крестиками обозначены результаты, приведённые в статье [1].

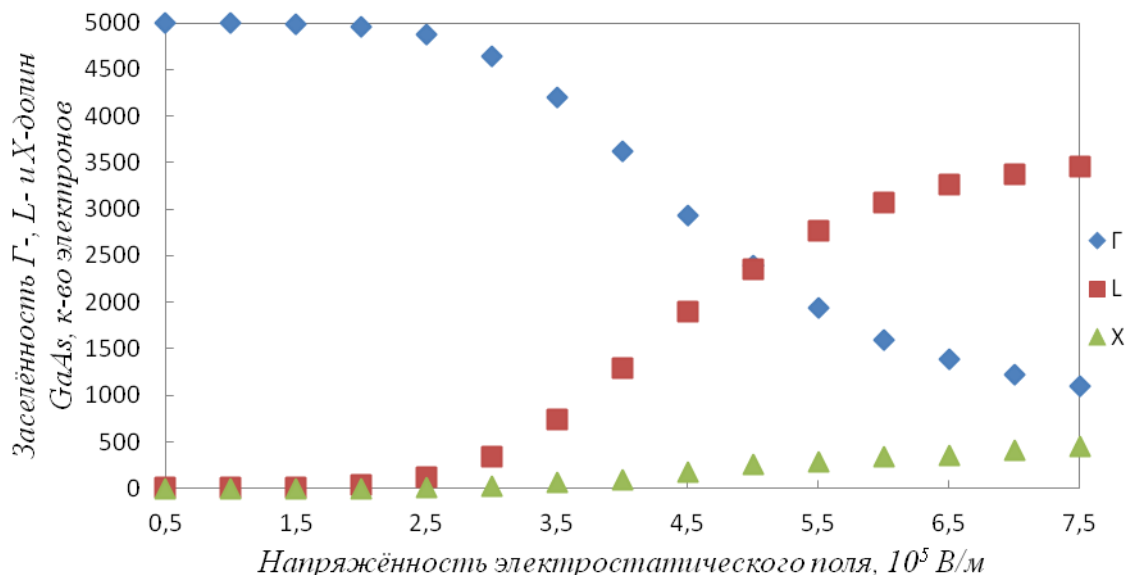


Рис. 2. Заселённость  $\Gamma$ -, L- и X- долин GaAs от напряжённости электростатического поля при 300К

Также были получены результаты, демонстрирующие влияние учёта непараболичности в процессе моделирования (см. рис. 3) и распределения величины волнового вектора вдоль направлений X и Y (см. рис. 4). На графике видно, что распределение волнового вектора в направлении Y сдвинуто относительно распределения волнового вектора в направлении X. Это объясняется тем, что электростатическое поле приложено в направлении Y. Среднее же значение волнового вектора в направлении X равно нулю.

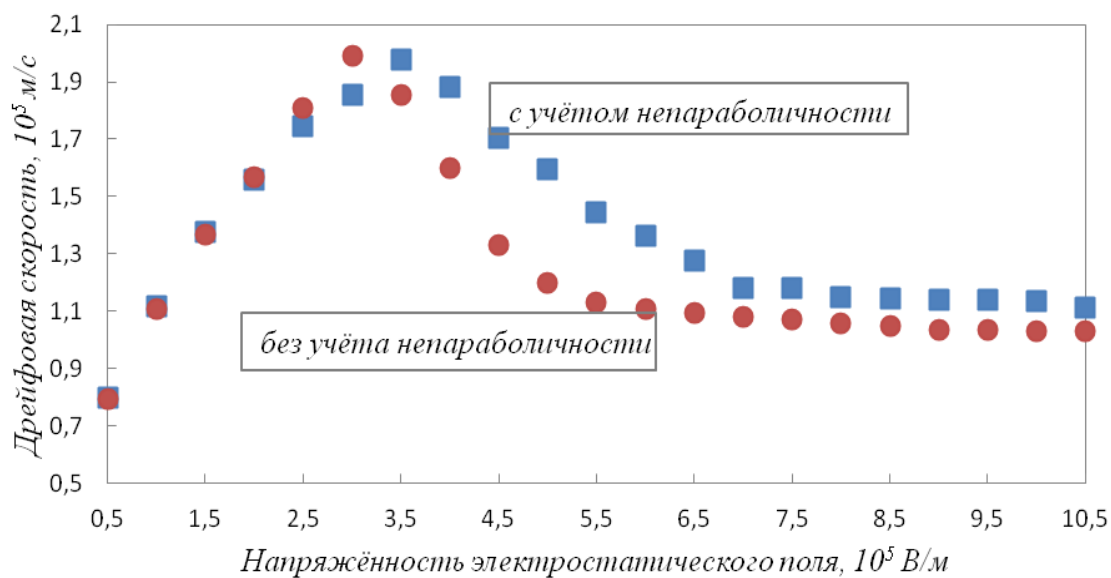


Рис. 3. Зависимость дрейфовой скорости электронов от напряжённости электростатического поля при 300К с учётом непараболичности

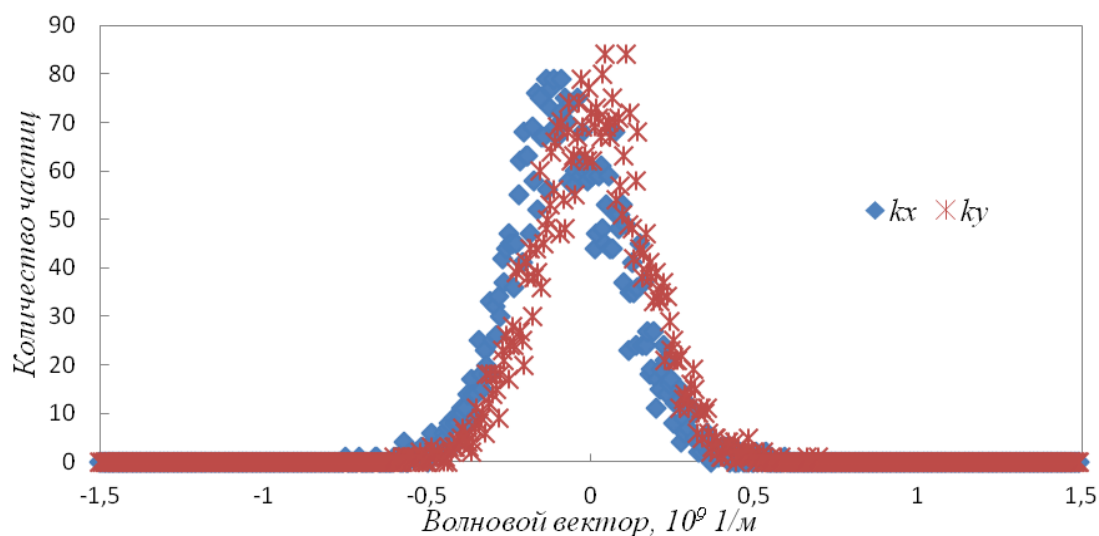


Рис. 4. Распределения волнового вектора вдоль направлений X и Y  
Каждой точке соответствует ячейка величиной в  $0,006 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ , в которой находится определённое количество частиц. Поле, напряжённостью  $1,5 \cdot 10^5 \text{ В/м}$ , приложено в направлении оси Y. Температура равна 300К.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны модель и компьютерная программа для моделирования электрофизических свойств объёмного GaAs многочастичным методом Монте-Карло, которые могут использоваться как для учебных, так и для исследовательских целей. Подтверждена адекватность разработанной модели. В качестве примера рассчитаны зависимость средней дрейфовой скорости от величины приложенного поля, а также заселённость Г-, L- и X-долин от напряжённости электрического поля.

### Литература

1. *W.Fawcett, A.D.Boardman and S.Swain*, Monte Carlo Determination of Electron Transport Properties In Gallium Arsenide // (Royal Radar Establishment, Malvern, Worcestershire, England, 1969).
2. *Michael Shur*, GaAs Devices and Circuits (MICRODEVICES Physics and Fabrication Technologies, 1989) p. 137.
3. *Dragica Vasileska*, Monte Carlo Device Simulations (Arizona State University, USA, 2015).
4. *Roger W. Hockney, James W. Eastwood*, Computer Simulation Using Particles (McGraw-Hill International Book Company, 1981) chapter 10.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**А. Ю. Полтаржицкая, В. В. Скакун**

### ВВЕДЕНИЕ

Флуоресцентные методы пользуются достаточной популярностью в биофизике в связи с их высокой чувствительностью и возможностью работать с живыми клетками. Исследование кинетики спектров флуоресценции позволяет изучать множество структурных и динамических свойств молекулярных систем, таких как микровязкость, вращательная диффузия, концентрация, размер молекул и др. Анализируя спектр испускания, можно получить информацию о ближайшем окружении флуорофора [2]. Метод корреляционной спектроскопии изображений (Image correlation spectroscopy) является одним из методов флуоресцентной флуктуационной спектроскопии [1]. Он позволяет определить концентрацию и размер молекул исследуемого вещества и изначально разрабатывался для изучения свойств клеточных мембран [2].