

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ РАССЕЯНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

А. В. Зезюля, Д. В. Поздняков

Известно, что современные технологические методы микро- и нано-электроники позволяют создавать полупроводниковые приборные структуры, работа которых уже во многом определяется размерными квантовыми эффектами. Благодаря этому становится возможной разработка принципиально новых высокоскоростных и энергоэкономичных приборов [1; 2]. При этом важнейшим направлением исследования данного рода структур с точки зрения приборных приложений является изучение особенностей процесса электропереноса в них и его численное моделирование. Одним из наиболее перспективных методов в этом отношении является метод Монте-Карло [3]. Однако, корректное применение последнего возможно лишь тогда, когда известны строгие выражения для интенсивностей рассеяния носителей заряда для основных механизмов.

Так, например, при исследовании процесса электропереноса в полупроводниковых приборных структурах для лучшего согласования результатов моделирования с экспериментальными данными не достаточно учета только основных носителей заряда, необходимо уже рассматривать вклад и неосновных носителей в этот процесс [4; 5]. С другой стороны в тех же структурах, но с низкоразмерным электронным газом, возникает проблема применения метода Монте-Карло, обусловленная существованием особых точек на зависимостях интенсивностей фононного рассеяния носителей заряда от энергии [6; 7]. Это связано, прежде всего, с тем, что в таких структурах при расчетах интенсивностей рассеяния не учитывается уширение энергетических уровней.

В связи с вышесказанным целью нашей работы является расчет интенсивностей рассеяния дырок в n -канальных 57-МОП транзисторах и электронов в p -канальных 57-МОП транзисторах в $G_{2/4}Si$ -КВНТОВВих проволоках прямоугольного поперечного сечения с учетом уширения энергетических уровней. При этом предполагается, что основные причины уширения - это тепловые колебания атомов кристаллической решетки и шероховатости поверхностей квантовой проволоки, образующих двумерную квантовую яму.

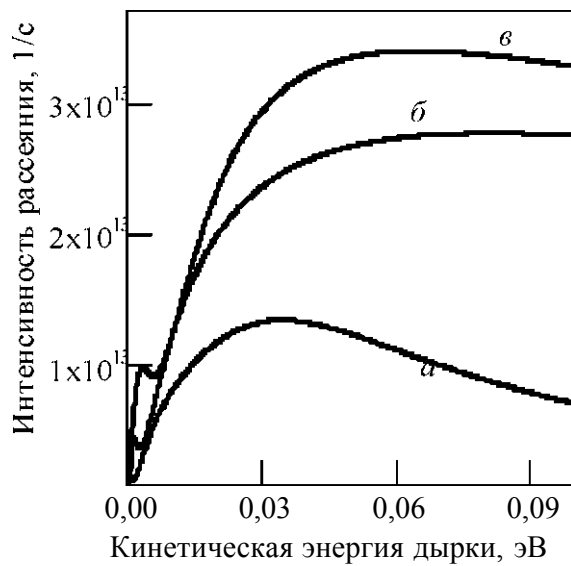


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеяния дырок от их кинетической энергии на ионизированных примесных центрах (донорах или акцепторах) с концентрацией N в p -канальном ЛТ-МОП транзисторе: $a - N = 10^{21} \text{ м}^{-3}$, $б - N = 10^{22} \text{ м}^{-3}$, $в - N = 10^{23} \text{ м}^{-3}$

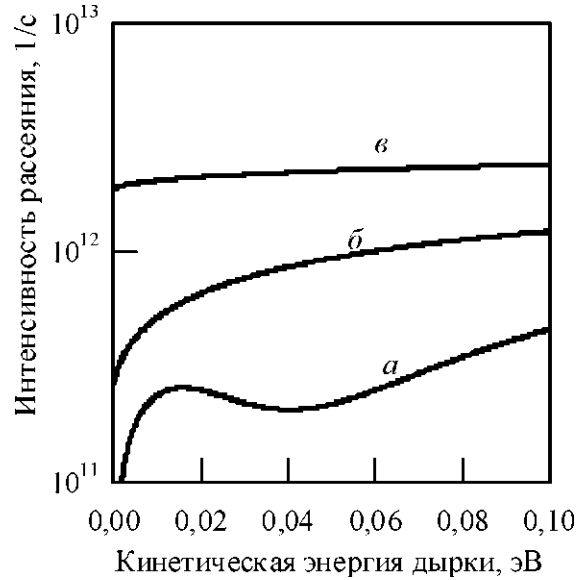


Рис. 2. Зависимость интенсивности рассеяния дырок от их кинетической энергии на электронах с кинетической энергией E и концентрацией $N = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ в p -канальном ЛТ-МОП транзисторе: $a - E = 0,09 \text{ эВ}$, $б - E = 0,1 \text{ эВ}$, $в - E = 1,09 \text{ эВ}$

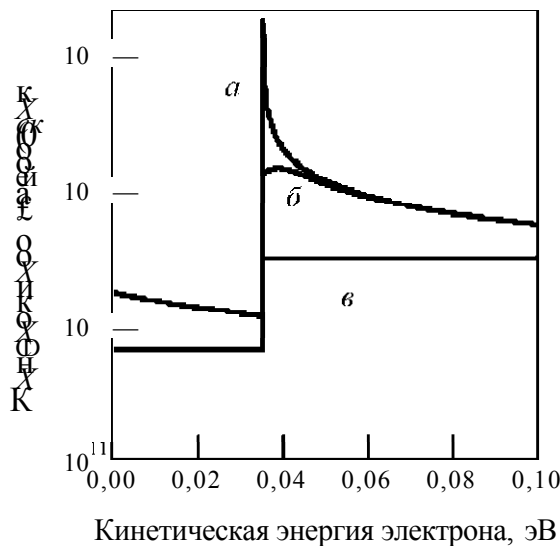


Рис. 3. Зависимость интенсивности рассеяния электронов от их кинетической энергии на полярных оптических фононах в $GaAs$ -квантовой проволоке: a - идеальный случай, $б$ - учитывались тепловые колебания атомов, $в$ - учитывались тепловые колебания атомов и шероховатости поверхностей (рассмотрен случай их предельно большой высоты)

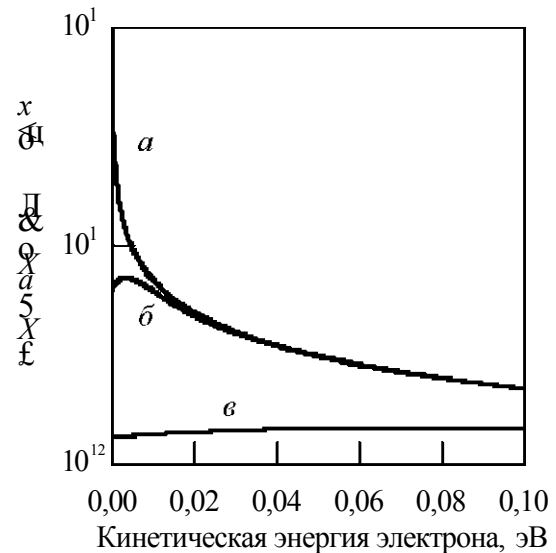


Рис. 4. Зависимость интенсивности рассеяния электронов от их кинетической энергии на акустических фононах в $GaAs$ -квантовой проволоке: a - идеальный случай, $б$ - учитывались тепловые колебания атомов, $в$ - учитывались тепловые колебания атомов и шероховатости поверхностей (рассмотрен случай их предельно большой высоты)

На рисунках, в качестве примера, представлены результаты расчетов интенсивностей рассеяния дырок на заряженных частицах в n-канальном Si-МОП транзисторе и электронов на фононах в GaAs-квантовой проволоке сечением $3 \times 3 \text{ нм}^2$. Температура полагалась равной 300 К.

Согласно рис. 1 концентрация ионизированной примеси оказывает значительное влияние на интенсивность рассеяния дырок. Если же дырки рассеиваются на электронах, то кроме характерной зависимости интенсивности рассеяния от концентрации электронов наблюдается еще существенное влияние на этот процесс кинетической энергии рассеивающих частиц (см. рис. 2).

Из рис. 3 и 4 видно, что учет уширения энергетических уровней в квантовой проволоке приводит к резкому снижению интенсивности рассеяния электронов на фононах в окрестности особой точки, в которой интенсивность рассеяния носителей заряда в бесконечность уже не обращается.

Таким образом, в рамках настоящей работы были рассчитаны интенсивности рассеяния дырок на заряженных частицах в n-канальных Si-МОП транзисторах и электронов на фононах в GaAs-квантовых проволоках прямоугольного поперечного сечения с учетом уширения энергетических уровней.

Литература

1. *Тагер А. С.* Размерные квантовые эффекты в субмикронных полупроводниковых структурах и перспектива их применения в электронике СВЧ. Ч. I. Физические основы // Электрон. тех. Сер. Электроника СВЧ. 1987. Т. 9. № 403. С. 21-34.
2. *Worschech L., Reitzenstein S., Forchel A.* Negative differential conductance in planar one-dimensional/zero-dimensional/one-dimensional *GaAs/AlGaAs* structures // Appl. Phys. Lett. 2000. Vol. 77. № 22. P. 3662-3664.
3. *Борздов В. М., Комаров Ф. Ф.* Моделирование электрофизических свойств твердотельных слоистых структур интегральной электроники / Мн.: БГУ, 1999. 235 с.
4. *Costato M., Reggiani L.* Scattering probabilities for holes // Phys. Stat. Sol. (b). 1973. Vol. 58. P. 471-482.
5. *Jacoboni C., Reggiani L.* The Monte Carlo method for the solution of charge transport in semiconductors with applications to covalent material // Rev. Mod. Phys. 1983. Vol. 55. № 3. P. 645-705.
6. *Борздов В. М., Поздняков Д. В.* Интенсивность рассеяния электронов на полярных оптических фононах в квантовой яме двухбарьерной резонансно-туннельной структуры на основе арсенида галлия // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1. 2002. № 1. С. 26-30.
7. *Borz dov V. M., Galenchik V. O., Komarov F. F. et al.* Calculation of intersubband phonon scattering rates in Si-MOS structures with one-dimensional electron gas // Phys. Low-Dim. Struct. 2002. Vol. 11/12. P. 21-26.