

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА В СВЕРХРЕШЕТКАХ С БАРЬЕРАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Эффективные источники поляризованных электронов (ИПЭ) чрезвычайно важны для экспериментов в области ядерной физики и физики элементарных частиц, проводимых на ускорителях электронов высокой энергии. Основой для изготовления ИПЭ являются полупроводниковые сверхрешетки (СР) [1]. Задача оптимизации электронного транспорта в СР важна для повышения квантовой эффективности ИПЭ.

Целью данной работы является исследование электронного транспорта в СР с барьерами переменной толщины. Нами рассчитывались коэффициент туннелирования и время электронного транспорта вдоль оси СР и анализировались их зависимости от энергии электрона. Расчет выполнялся путем решения одномерного уравнения Шрёдингера для ступенчатого потенциала в приближении эффективной массы.

Были рассмотрены три типа СР, потенциалы которых приведены на рис. 1а, б, в.

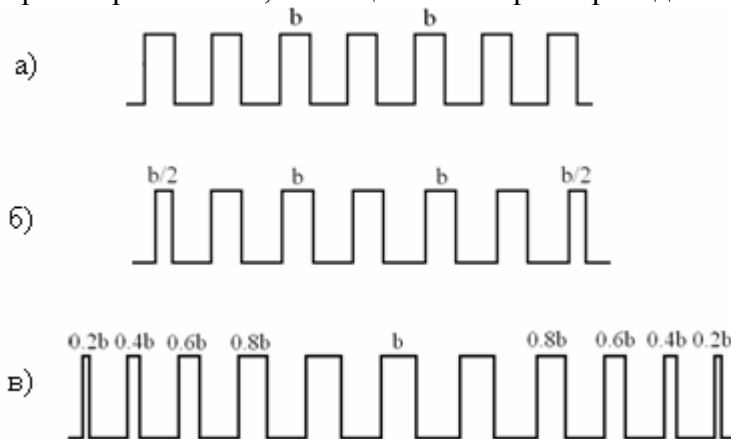


Рис. 1. СР с барьерами равной толщины 4нм и высотой 0.2 эВ (а); все ямы имеют ширину 5нм, СР с крайними барьерами половинной толщины (б); СР с линейным симметричным постепенным уменьшением толщины барьеров (в)

Коэффициент туннелирования T определяется как отношение $T = I/I_0$ интенсивности потока электронов I , прошедших через СР, к интенсивности потока электронов I_0 , налетающих на СР. Сверхрешетка состоит из N одинаковых ям. Время туннелирования τ определяется как: $\tau = (I/I_0) \int |\Psi(x)|^2 dx$, где интегрирование квадрата модуля волновой функции электрона $\Psi(x)$ производится по всей длине СР.

Переходы между двумя соседними ямами возникают за счет резонансного туннелирования, причем для всех внутренних барьеров туннельная прозрачность $T_{рез} \propto \exp(-\kappa b)$, где κ — модуль волнового вектора электрона в барьере толщины b . Переход через крайние барьеры происходит благодаря нерезонансному туннелированию. В данном случае туннельная прозрачность оказывается пропорциональна $T_{нерез} \propto \exp(-2\kappa b_f)$, где b_f — толщина крайнего барьера. Очевидно, что сверхрешетку следует включать в цепь согласованно, чтобы выполнялось условие $T_{рез} = T_{нерез}$. Для этого необходимо ширину крайних барьеров взять равной половине внутреннего, $b_f = b/2$, [2], как это изображено на рис. 1б. Однако, существует возможность дальнейшего улучшения результата за счет плавного варьирования толщин барьеров [3], как показано на рис. 1в.

На рис. 2 представлены полученные нами зависимости коэффициента туннелирования (тонкая кривая) и времени электронного транспорта (жирная кривая) от энергии электрона для трёх типов СР.

Резонансные пики туннельной прозрачности на рис. 2а возникают при совпадении энергии туннелирующего электрона и энергии одного из локализованных внутри ямы электронных состояний. Расстояние между пиками ΔE обратно пропорционально времени движения электрона внутри СР, $t = \hbar/\Delta E$. А ширина пика, Γ , соответствует обратному времени его движения через крайние барьеры, $t_1 = \hbar/\Gamma$. Для СР с барьерами равной толщины $\Gamma \ll \Delta E$, и, соответственно $t_1 \gg t$.

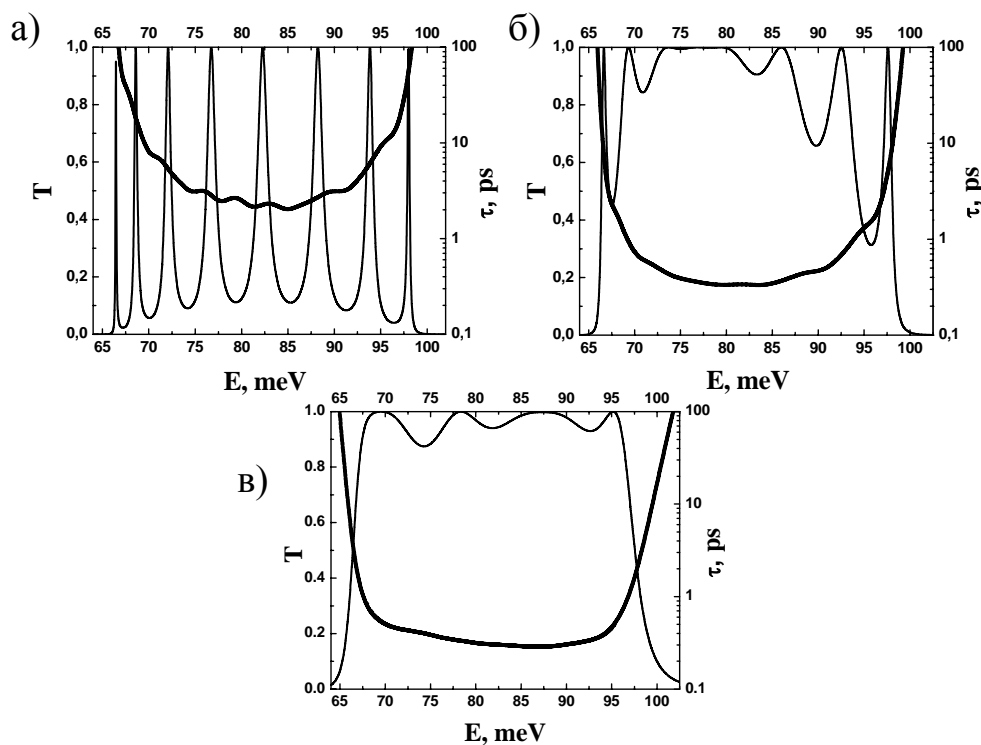


Рис. 2. Зависимости коэффициента туннелирования (тонкая кривая) и времени электронного транспорта (жирная кривая) от энергии электрона для трёх типов СР, представленных на рис. 1

На рис. 2б для СР второго типа (рис. 1б) соседние пики перекрылись, что соответствует уменьшению времени электронного транспорта. Однако, на краю минизоны они по-прежнему узки вследствие малости амплитуды волновой функции вблизи крайних барьеров.

Постепенное уменьшение толщины барьеров (см. рис. 2в) позволяет уменьшить время транспорта для всех электронных состояний в СР, в том числе и на краях минизоны. Как результат ожидается увеличение квантовой эффективности эмиттеров поляризованных электронов при сохранении высокой степени спиновой поляризации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. A.V.Subashiev, Yu.A.Mamaev, Yu.P.Yashin, J.E.Clendenin, Phys. Low-Dimensional Structures, 1/2, 1 (1999).
2. L.V.Iogansen, Pisma Zh. Tekh. Fiz., 13, 1143 (1987).
3. V.A.Tkachenko et al, Proc. 10th Intern. Symp. on High Energy Spin Physics, Nagoya, Japan, 1992, p.857.