

## ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 621.315.592

DOI: 10.17223/00213411/64/4/163

А.Б. ДЮБУА<sup>1</sup>, С.И. КУЧЕРЯВЫЙ<sup>2</sup>, А.С. САФОШКИН<sup>1</sup>

## МЕЖПОДЗОННЫЕ ЭЛЕКТРОН-ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДВУМЕРНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ГАЗЕ

Представлены результаты исследований электрон-электронных релаксационных процессов в системе сильновырожденных  $2D$ -электронов с тонкой структурой энергетического спектра и пространственного распределения электронной плотности. Для сильнолегированного гетероперехода, когда оказываются заполненными две подзоны размерного квантования, найдены выражения для времени электрон-электронного внутри- и межподзонного взаимодействия, определены матричные элементы полного потенциала экранирования и поляризационной функции в приближении, далеком от длинноволнового предела. Показано, что осцилляции температурной и концентрационной зависимости времени электрон-электронного взаимодействия связаны с возбуждением плазменных колебаний компонентов  $2D$ -электронной системы.

**Ключевые слова:** электрон-электронные взаимодействия, приближение хаотических фаз, гетеропереходы.

## Введение

В ряде работ (например, [1–6]) по исследованию многочастичных взаимодействий в гетероструктурах, в том числе и графеновых, была показана подавляющая роль электрон-электронных взаимодействий, которые уже при низких температурах (2–30 К) играют определяющую роль по сравнению с остальными процессами.

В настоящей работе в качестве объекта исследований была принята гетероструктура  $\text{Al}_x\text{GaAs}_{1-x}(\text{Si})/\text{GaAs}$ , однако приведенные расчеты позволяют определить кинетические зависимости и для других структур, например  $\text{InAs}/\text{GaSb}$ .

Поведение электронной жидкости в пределе очень большой концентрации упрощается, потому что в этом случае кулоновское взаимодействие оказывается относительно малым возмущением: средняя потенциальная, пропорциональная  $e^2/r_0$ , где  $r_0$  – межэлектронное расстояние, мала по сравнению с кинетической энергией, пропорциональной  $\hbar^2/m^*r_0^2$ . Свойства системы хорошо описываются в так называемом приближении хаотических фаз (ПХФ) [7–9]. Это приближение справедливо при достаточно высоких концентрациях электронов, когда их средняя кинетическая энергия значительно превышает среднюю энергию их взаимодействия. Это условие обычно записывается в виде  $r_s \ll 1$ , где параметр  $r_s$  в трехмерной системе определяется отношением радиуса сферы, окружающей один электрон, к эффективному боровскому радиусу  $a^*$ , который определен соотношением  $a^* = \varepsilon_{nn}\hbar^2/m^*e^2$ . Соответствующий вывод справедлив и для двумерных систем, поэтому использование ПХФ считается вполне обоснованным для описания двумерных систем в полупроводниках с узкой запрещенной зоной, например, таких, как  $\text{InSb}$  и  $\text{InAs}$ , характеризующихся малыми эффективными массами носителей и большими диэлектрическими проницаемостями.

В настоящей работе  $\varepsilon_{nn} \approx 13$  – статическая диэлектрическая проницаемость полупроводника ( $\text{GaAs}$ ),  $m^*$  – эффективная масса, которая для  $\text{GaAs}$  равна  $m^* = 0.067m_e$  [2]. Тогда выражение для  $r_s$  будет иметь вид

$$r_s = \frac{m^* e^2}{\varepsilon_{nn} \hbar^2 \sqrt{\pi \cdot n_s}} \approx 0.67 \lesssim 1,$$

т.е. ПХФ применимо для исследуемых в работе структур.

## Электрон-электронные взаимодействия в сильнолегированном гетеропереходе

В качестве исходной модели рассмотрим потенциальную яму гетероперехода, рассчитанную в [3] и представленную на рис. 1. Зависимость внешнего потенциала  $E(z)$  в области  $i$ - $\text{GaAs}$  ап-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>