

УДК 538.915

А.А. ВАСИЛЬЧЕНКО, Г.Ф. КОПЫТОВ

НЕЛИНЕЙНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ И ПЕРЕХОД МЕТАЛЛ – ДИЭЛЕКТРИК В ДВУМЕРНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ГАЗЕ*

Используется теория функционала плотности для изучения нелинейных экранирующих свойств двумерного электронного газа в сильном магнитном поле. Численно решаются уравнения Кона – Шэма для двумерных электронов. Показано, что при низких плотностях электронов на примеси локализуются два электрона, волновые функции которых не перекрываются с волновыми функциями других электронов. Построена фазовая диаграмма перехода металл – диэлектрик в магнитном поле.

Ключевые слова: переход металл – диэлектрик, экранирование, уравнения Кона – Шэма.

Введение

В работах [1, 2] показано, что в кремниевых МОП-структурах при низких плотностях двумерного электронного газа происходит переход металл – диэлектрик [3]. Позже переход металл – диэлектрик был обнаружен и в других двумерных системах [4, 5]. Переход от металлического типа проводимости происходит при уменьшении двумерной плотности электронов. Например, в кремниевых МОП-структурах этот переход наблюдается при плотностях около 10^{11} см^{-2} . При таких низких плотностях важную роль играет электрон-электронное взаимодействие. Экспериментальные данные указывают, что на характеристики перехода металл – диэлектрик влияет спин электрона. Действительно в экспериментальной работе [6] показано, что в параллельном электронному слою магнитном поле температурная зависимость сопротивления меняется с металлической на диэлектрическую. Также стоит отметить влияние примесей на характеристики перехода металл – диэлектрик. В кремниевых МОП-структурах критическая плотность электронов увеличивается с уменьшением подвижности электронов [7].

В работе [8] экспериментально изучался переход в диэлектрическое состояние двумерного электронного газа в перпендикулярном магнитном поле. Полученная зависимость критической концентрации от магнитного поля носит немонотонный характер. Для объяснения этого явления исследуем влияние заряженной примеси на свойства двумерного электронного газа.

Экранирование заряженной примеси электронами имеет важное значение для изучения транспортных свойств полупроводниковых структур. Особый интерес представляет изучение экранирования в двумерных системах. В двумерном случае любой притягивающий потенциал имеет по крайней мере одно связанное состояние, в отличие от трехмерного случая. Для решения задачи экранирования заряженной примеси двумерными электронами использовались метод Томаса – Ферми [9], метод RPA [10, 11], приближение Хартри [12] и другие простые методы. Однако эти вычисления не являются полностью самосогласованными и не всегда учитывают коллективные свойства электронов. Самосогласованные расчеты с использованием теории функционала плотности выполнены в работах [13, 14]. Численно решались уравнения Кона – Шэма для двумерных электронов с различной плотностью без магнитного поля. Показано, что связанное состояние электрона имеет место даже в пределе высокой плотности. В настоящей работе мы используем теорию функционала плотности для изучения нелинейных экранирующих свойств двумерного электронного газа в перпендикулярном магнитном поле.

Теоретическая модель

Для изучения свойств двумерного электронного газа с заряженной примесью используется теория функционала плотности с учетом обменного взаимодействия в локальном приближении. Отличие нашего подхода от стандартного состоит в том, что в функционале плотности мы исключаем самодействие электронов [15]. Таким образом, электроны движутся не в среднем поле, а эффективно-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Краснодарского края (проект № 16-42-230280).

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>