Плазменные колебания в 2D электронной системе с затвором в виде полосы

Заболотных А.А.^{1,2}, Волков В.А.^{1,2}

¹ ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 125009, Москва, ул. Моховая, 11, корп. 7

² Московский физико-технический институт, 141700, Московская обл., Долгопрудный,
Институтский пер., 9

DOI 10.34077/Semicond2019-224

Плазменные колебания (или плазмоны) в двумерных (2D) электронных системах (ЭС) изучаются уже 50 лет. В отличие от плазмонов в 3D системах спектр 2D плазмонов является бесщелевым, а частота плазмонов сильно зависит от 2D волнового вектора q . Если неограниченная 2D ЭС окружена диэлектриком с проницаемостью κ , то зависимость частоты от волнового вектора корневая [1]. Если вблизи 2D ЭС находится неограниченный металлический затвор, то закон дисперсии смягчается и становится линейным [2], а сами плазмоны называют экранированными, т.к. затвор «экранирует» кулоновское взаимодействие между электронами в 2D ЭС.

Расчет спектра плазмонов в ограниченных 2D ЭС, как правило, весьма сложен из-за нелокальности кулоновского взаимодействия 2D электронов. Даже в простейших геометриях (полуплоскость, полоса) задача сводится к решению интегрального уравнения, которое обычно решается либо численно, либо с помощью плохо контролируемых приближений (без малых параметров).

В данной работе найден спектр плазмонов в бесконечной 2D ЭС, вблизи которой находится металлический затвор в виде полосы конечной ширины L_x [3]. Считалось, что напряжение на затворе отсутствует, т.е. 2D ЭС является однородной. Оказалось, что задача допускает аналитическое решение, если использовать два предположения: 1) частота искомых плазменных мод мала по сравнению с частотой «объемных» плазмонов в 2D ЭС вдали от затвора для того же q ; 2) расстояние d между 2D ЭС и затвором мало по сравнению с $1/q$ и шириной затвора L_x .

Получено, что в такой системе существуют плазменные моды, локализованные около затвора и распространяющиеся вдоль него. Частота мод определяется волновым вектором вдоль затвора q_y , а также номером моды $N=0,1,2,\dots$, который соответствует числу нулей плотности заряда поперек затвора. Существование возбужденных мод $N=1,2,\dots$ было известно из численных расчётов, однако основная мода $N=0$ получена впервые. Эта мода, в отличие от возбужденных мод, является бесщелевой и в длинноволновом пределе ($qL_x \ll 1$) обладает необычным (для плазмонов в 2D ЭС с затвором) корневым законом дисперсии:

$$\omega_{N=0}(q) = \sqrt{\frac{8\pi e^2 n d}{m\kappa} \frac{|q_y|}{L_x}}, \quad (1)$$

где e , m , n -- заряд, эффективная масса и концентрация электронов в 2D ЭС.

В конце отметим, что недавно было доложено [4] о возможном экспериментальном обнаружении предсказанной теоретически моды $N=0$.

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-02-01226.

[1] F. Stern, *Phys. Rev. Lett.* **18**, 546 (1967).

[2] А.В. Чаплик, *ЖЭТФ*, **62**, 746 (1972).

[3] A.A. Zabolotnykh and V.A. Volkov, *arXiv:1812.10693* (2018).

[4] И.В. Андреев, В.М. Муравьев, П.А. Гусихин, И.В. Кукушкин, *Труды XXIII Международного симпозиума Нанотехника и наноэлектроника*, т.2, с.589 (2019).