

Поперечные плазмон-поляритоны в полупроводниковых структурах с двумерным электронным газом

*Павлов В. Н., Волков В. А.*

Известно, что плазменные волны в двумерных (2D) электронных системах (2D плазмоны и плазмон-поляритоны) имеют продольный характер. В работе предсказано, что в полупроводниковых структурах с 2D электронным газом должны существовать также поперечные плазменные волны, точнее, 2D плазмон-поляритоны TE-типа. Новые моды высокочастотны, но имеют конечное затухание, связанное с излучением электромагнитных волн в окружающую среду.

В металлах и легированных полупроводниках давно исследуются волны электронной плотности (плазменные волны, или плазмоны). В случае, когда их фазовая скорость не мала по сравнению со скоростью света  $c$ , они сильно взаимодействуют со светом и называются плазмон-поляритонами. Известно, что в 2D электронных системах плазмоны являются продольными волнами [1]. При увеличении подвижности 2D электронов важную роль начинает играть электромагнитное запаздывание. Тем не менее, 2D плазмон-поляритоны сохраняют продольный характер, точнее, являются ТМ-волнами [1]. В работе [2] показано, что поперечные волны (волны TE-типа) в газе 2D электронов не существуют, точнее, они имеют чисто релаксационный характер.

Однако в [2] не учитывалась неоднородность диэлектрической среды, окружающей 2D электронный газ. В реальных же структурах 2D электронный газ находится внутри полупроводниковой (диэлектрической) пластины конечной толщины. Учет такой неоднородности приводит к появлению поляризационных зарядов на границах раздела «полупроводник-воздух», которые могут взаимодействовать с электронными зарядами и существенно изменить спектр коллективных возбуждений.

В настоящей работе рассмотрены свойства плазмон-поляритонов TE-типа в 2D электронной системе, состоящей из диэлектрической подложки (толщина  $d$ , диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ ), на поверхности которой помещен 2D электронный газ с концентрацией электронов  $n_s$ . Подложка играет роль диэлектрического волновода для TE-мод, на спектр которых существенное влияние оказывает наличие 2D электронного газа. Рассчитан спектр таких мод, т.е. зависимость комплексной частоты от 2D волнового вектора  $\mathbf{k}(q)$ , причем в рамках бесстолкновительного приближения для проводимости 2D электронов мнимая часть частоты описывает затухание плазмон-поляритонов за счет излучения электромагнитной энергии в вакуум. Результаты таковы.

1. В области  $\frac{cq}{\sqrt{e}} \leq w \leq cq$  к каждой ветви волноводных мод (пунктир на рис. 1) в точке пересечения с модой  $w = cq$  примыкает новая ветвь. Отметим, что для пустого волновода комплексные частоты  $w(q=0)$  были получены в [3].
2. Мода первого порядка продолжается в область  $w < \frac{cq}{\sqrt{e}}$  участком спектра с асимптотикой  $w(q) = \frac{2}{\sqrt{e-1}} w_{2D}(q)$  при  $q \rightarrow \infty$ , где  $w_{2D}(q)$  - частота 2D плазмона в вакууме, рис 1b.
3. Существуют релаксационные моды нулевого порядка. Они отображены на рис.1c при  $\Omega_0^2 \equiv (\frac{w_0}{c} d)^2 \equiv \frac{4pn_s e^2 d}{mc^2} \ll \frac{1}{e}$ ; одна из мод существует при всех  $q$  и имеет асимптотику  $\text{Im } w(q) = -\frac{c}{d} \frac{(2qd)^{3/2} e^{-qd}}{(\frac{w_0}{c} d)\sqrt{e-1}}$ ,  $q \rightarrow \infty$ .

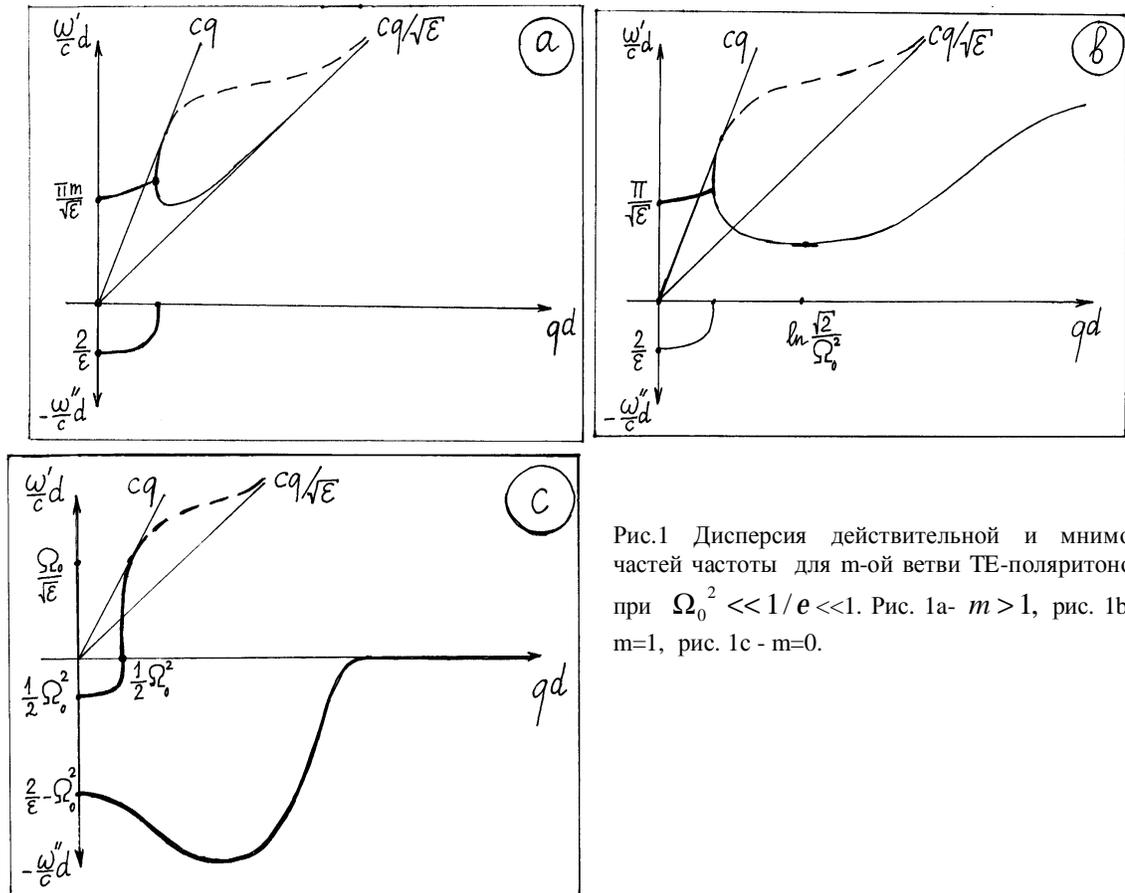


Рис.1 Дисперсия действительной и мнимой частей частоты для  $m$ -ой ветви ТЕ-поляритонов при  $\Omega_0^2 \ll 1/e \ll 1$ . Рис. 1a-  $m > 1$ , рис. 1b -  $m=1$ , рис. 1c -  $m=0$ .

### Список литературы

[1] Ando T., Fowler A. B. and Stern F. Electronic properties of two-dimensional systems - Reviews of Modern Physics, 1982, vol. 54, № 2, p. 437-672.

[2] Фалько В. И., Хмельницкий Д. Е. Что, если двумерная проводимость больше скорости света? - Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики, 1989, т. 95, с. 1988-1992.

[3] Leung P. T., Liu S. Y., Young K. Completeness and orthogonality of quasinormal modes in leaky optical cavities - Physical Review A, 1994, vol. 49, № 4, p. 3057-3067.

-----  
Transverse plasmon-polaritons in semiconductor structures with two-dimensional electron gas

*Pavlov V. N., Volkov V. A.*

Plasma waves in two-dimensional electron systems (2D plasmons and plasmon-polaritons) are known to be longitudinal. The existence of transverse plasma waves, which may be also referred to as TE-type plasmon-polaritons, in semiconductor structures with 2D electron gas is predicted. The new modes have small damping related to electromagnetic radiation into the outer space.