

06:07  
©1993

## ВЛИЯНИЕ ДИССИПАЦИИ НА ШИРИНУ ЛИНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ДВУМЕРНЫМИ ПЛАЗМОНАМИ В AlGaAs/GaAs ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ

*О.Р.Матов, О.В.Полищук, В.В.Попов*

Поглощение электромагнитных (ЭМ) волн в далеком ИК диапазоне двумерными (2М) плазмонами используется для целей спектроскопии 2М слоев пространственного заряда в AlGaAs/GaAs гетеропереходах. Для обеспечения связи ЭМ и плазменных волн на поверхности гетероструктуры формируется металлическая периодическая решетка с периодом  $L \ll \lambda_0$ , где  $\lambda_0$  — длина ЭМ волны [1]. Для достижения наиболее эффективной связи решетка располагается на небольшом расстоянии  $d \ll L$  от 2М слоя пространственного заряда и изолируется от последнего слоем широкозонного полупроводника AlGaAs и тонким защитным слоем GaAs, при этом коэффициент заполнения решетки  $\frac{w}{L}$ , где  $w$  — ширина металлических полосок, обычно близок к единице.

Одной из основных характеристик фотон-плазмонного взаимодействия является ширина линии поглощения ЭМ волн. Экспериментально наблюдаемая в работе [1] ширина линии поглощения примерно в три раза превосходит величину обратного времени релаксации электронов в 2М слое. Это означает, что в исследуемой структуре действуют дополнительные механизмы затухания 2М плазмонов, приводящие к уширению линии поглощения ЭМ волн. В качестве таких дополнительных механизмов затухания могут выступать радиационное затухание 2М плазмонов при их дифракции на периодической металлической решетке [2], диэлектрические потери в слоях гетероструктуры, а также омические потери в металлических полосках решетки и разброс параметров в плоскости структуры.

Ранее нами была развита строгая теория рассеяния 2М плазмонов на плоской металлической решетке [2,3] и показано, что радиационное затухание 2М плазмонов сравнимо по величине с диссипативным затуханием, определяемым рассеянием электронов в 2М плазменном слое, и приводит к значительному уширению линии поглощения. Тем не менее, даже при учете этих двух механизмов затухания нам не

удалось объяснить в [2] полную ширину линии поглощения, наблюдаемую в эксперименте [1].

В настоящей работе показано, что учет диэлектрических потерь в GaAs и AlGaAs слоях гетероструктуры позволяет объяснить экспериментально наблюдаемую ширину линии поглощения.

Влияние диэлектрических потерь в слоях гетероструктуры оценивалось путем использования в расчетах комплексной диэлектрической проницаемости материалов гетероструктуры  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$ . Расчеты проводились для характерных параметров эксперимента [1]: частота ЭМ волны  $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda_0} = 8.3 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$  (заметим, что в работе [2], по вине авторов, допущена опечатка при записи численного значения частоты);  $\epsilon_{\text{GaAs}} = 12.8$ ;  $\epsilon_{\text{AlGaAs}} = 11.0$ ;  $L = 8.7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ;  $d = 8 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ ;  $\frac{\omega}{L} \sim I$ ; поверхностная концентрация электронов в 2М слое пространственного заряда  $N_s = 6.7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . Согласно [4], объемная удельная проводимость  $\sigma = \epsilon_0 \omega \epsilon''$  нелегированного GaAs, выращенного методом Чохральского, составляет около  $2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  в далеком ИК диапазоне при температуре жидкого гелия. Это соответствует значению мнимой части диэлектрической проницаемости  $\epsilon'' \simeq 2.75$ . Нам неизвестны данные по измерению проводимости  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  в указанном диапазоне. Однако представляется маловероятным, что эта проводимость будет меньше, чем у чистого GaAs. Используя величину  $\epsilon'' = 2.75$  для обоих материалов гетероструктуры, с учетом трех механизмов затухания 2М плазменных волн (электронное рассеяние в 2М слое, радиационное затухание, диэлектрические потери), мы вычислили ширину линии поглощения ЭМ волн, которая оказалась в четыре раза больше экспериментальной величины. Наилучшее совпадение теоретических и экспериментальных данных получилось при использовании в расчетах значения  $\sigma \simeq 0.2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Полученный результат свидетельствует о значительно более высоком качестве материалов гетероструктуры, используемой в экспериментах [1], по сравнению с GaAs, исследованным в [4].

Таким образом, в настоящей работе показано, что одной из основных причин уширения линии поглощения ЭМ волн 2М плазмонами, наряду с радиационным затуханием последних, являются диэлектрические потери в материалах гетероструктуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-15480).

## Список литературы

- [1] *Batke E., Heitmann D., Tu C.W.* // Phys. Rev. 1986. V. 34. N 10. P. 6951-6960.
- [2] *Матов О.Р., Полищук О.В., Попов В.В.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 16. С. 86-89.
- [3] *Матов О.Р., Полищук О.В., Попов В.В.* // Радиотехника и электроника. 1992. Т. 37. В. 12. С. 2242-2250.
- [4] *Волков А.А., Горшунев Б.П., Калинушкин В.П., Козлов Г.В., Сиротинский О.И.* // ФТТ. 1990. Т. 32. В. 5. С. 1368-1373.

Институт радиотехники  
и электроники РАН  
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию  
17 июля 1993 г.

---