

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ЭЛЕКТРОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ, ПОМЕЩЕННОМ В ПЕРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Г. Д. Мансфельд, В. С. Веретин

Экспериментально обнаружены осцилляции и смена знака коэффициента электронного поглощения ультразвука частоты 0,5 и 0,7 ГГц в кристаллах n -InSb, помещенных в переменное электрическое поле частоты 1,8 ГГц. Опыты проводились при температуре 77К в магнитном поле до 6 кэ.

В последние годы большое внимание уделяется изучению взаимодействия ультразвуковых волн (УЗВ) с электронами в полупроводниках, помещенных в переменное электрическое поле [1 — 5]. В [1, 2] теоретически предсказывалась возможность существования "гигантских" осцилляций коэффициента электронного поглощения α в зависимости от амплитуды переменного электрического поля.

В настоящей работе приводятся результаты эксперимента, подтверждающего существование таких осцилляций. Исследовалась зависимость коэффициента электронного поглощения сдвиговых пьезоактивных УЗВ, распространявшихся вдоль направления [110] в кристаллах n -InSb, помещенных в жидкий азот. Опыты проводились на частотах УЗВ 500 и 700 МГц. Кристаллы с концентрацией электронов $n \approx 1,0 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu_0 \approx 600000 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ вырезались в виде прямоугольных брусков с размерами $0,7 \times 0,7 \times 7 \text{ мм}^3$. Переменное электрическое напряжение частоты $\omega/2\pi = 1,8 \text{ ГГц}$ прикладывалось к образцу в направлении распространения УЗВ через кольцевые омические контакты из индия. Расстояние d между контактами составляло 5 мм. Напряжение СВЧ на образце измерялось с помощью стробоскопического осциллоскопа. Для возбуждения УЗВ и их приема использовались эпитаксиальные

преобразователи из CdS. Опыты производились в магнитном поле H , перпендикулярном к направлению распространения УЗВ. Величина магнитного поля была достаточной для выполнения условия $q_s R_c \ll 1$ (q_s — волновой вектор УЗВ, R_c — циклотронный радиус), что согласно [5] делает применимыми выводы гидродинамической теории [1 — 4]. Регистрация УЗВ, а также относительные измерения коэффициента поглощения, производились "эхо"-методом. Экспериментальная установка аналогична описанной в [6].

Процедура измерений сводилась к следующему. При включении магнитного поля (при $U_{\sim} = 0$) уровень регистрируемых "эхо"-сигналов резко падал — возрастало электронное поглощение. (При $H = 0$ α — пренебрежимо мало). Включение СВЧ напряжения во время пробега УЗВ по кристаллу и дальнейшее увеличение его амплитуды приводило к увеличению уровня эхо-импульсов и их осцилляциям. Измеренные значения коэффициента электронного поглощения и его изменений под действием СВЧ поля затем пересчитывались на единицу длины кристалла.

На рисунке представлены зависимости коэффициента электронного поглощения от амплитуды СВЧ напряжения на образце. Экспериментальные данные показаны точками, сплошные кривые — теоретические [2, 3], вычисленные на ЭВМ по формуле

$$\alpha = K^2 q_s \sum_{m=-\infty}^{\infty} I_m^2(x) \frac{(\omega_s + m\omega) \tau_M}{(1 + q_s^2 r_D^2)^2 + (\omega_s + m\omega)^2 \tau_M^2}, \text{ см}^{-1} \quad (1)$$

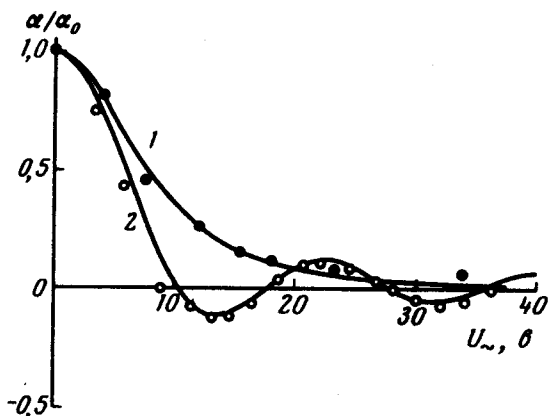
здесь K^2 — квадрат коэффициента электромеханической связи, ω_s — круговая частота УЗВ, $\tau_M \approx \tau_M^0 \left(\frac{\mu_0 H}{c} \right)^2$ [5] τ_M^0 — максвелловское время релаксации, c — скорость света, r_D — радиус Дебая. $I_m(x)$ — функция

Бесселя m -го индекса $x = \frac{V_{d\text{СВЧ}}}{V_s} \frac{\omega_s}{\omega}$ $V_{d\text{СВЧ}}$ — скорость дрейфа в

СВЧ поле. При ее определении учитывался эффект магнитосопротивления $V_{d\text{СВЧ}} \approx \mu_0 \frac{U_{\sim}}{d} \frac{R(0)}{R(H)}$, $R(0)$ и $R(H)$ — значения сопротивления образца,

соответственно, при выключенном и включенном магнитном поле. α_0 — значение α_e в отсутствие СВЧ поля ($U_{\sim} = 0$). Кривые, показанные на рисунке, соответствуют двум различным значениям магнитного поля: 1, — $H = 2 \text{ кэ}$ и 2, — $H = 6 \text{ кэ}$. Экспериментальные данные, полученные для этих полей обозначены, соответственно, ∇ и $+$. Как видно из рисунка они хорошо согласуются с теорией. При $H = 2 \text{ кэ}$ коэффициент поглощения плавно убывает с ростом U_{\sim} , а при $H = 6 \text{ кэ}$ уменьшение коэффициента поглощения сопровождается ярко выраженными осцилляциями. Согласно [1, 2] осцилляции должны быть заметными при $\omega \tau_M \gtrsim 1$. При $H = 6 \text{ кэ}$ $\omega \tau_M = 2, 1, \dots$ и осцилляции действительно наблюдаются. Заметим, что, как видно из рисунка, при наличии СВЧ поля имеют место не только осцилляции коэффициента поглощения, но также и смена его знака. На возможность смены знака α в СВЧ поле указывалось в [2]. Экспериментальное наблюдение и исследование ос-

цилляций производилось и на частоте ультразвука 700 Мгц. Полученные данные также согласуются с теорией.



Таким образом, в настоящей работе получено экспериментальное подтверждение существования "гигантских" осцилляций коэффициента электронного поглощения и смены его знака в полупроводнике помещенном в переменное электрическое поле.

Авторы благодарят Ю.В.Гуляева, Л.А.Чернозатонского и Э.М.Эпштейна за полезное обсуждение результатов работы и И.М.Котелянского за изготовление эффективных эпитаксиальных преобразователей.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 ноября 1977 г.

Литература

- [1] Э.М.Эпштейн. Письма в ЖЭТФ, 7, 433, 1968; ФТТ, 10, 2945, 1968.
- [2] В.М.Левин, Л.А.Чернозатонский. ЖЭТФ, 59, 142, 1970.
- [3] R.H.Pantell, T.Soo Ноо. J Appl Phys., 41, 442, 1970.
- [4] А.С.Бугаев, Ю.В.Гуляев, В.В.Денисенко, Ж.Э.Смбатян. ФТП, 12, вып. 1, 1978.
- [5] В.М.Левин, Л.А.Чернозатонский. ФТП, 7, 1124, 1973.
- [6] С.Н.Иванов, Г.Д.Мансфельд. ФТП, 4, 40, 1970.