

Магнитоплазменный эффект в монокристаллах сурьмы при температуре ≥ 80 К

© А.А. Зайцев, К.Г. Иванов*, В.М. Грабов†

Елецкий государственный педагогический институт,
399740 Елец Липецкой обл., Россия

* Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна,
191186 Санкт-Петербург, Россия

† Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
191186 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 5 февраля 1998 г. Принята к печати 14 мая 1998 г.)

Исследованы спектры пропускания лазерного излучения с $\lambda = 10.6$ мкм образцами, представляющими две разделенные малым зазором симметричные половинки монокристалла сурьмы, в импульсных магнитных полях $B \leq 20$ Тл при температурах, $T \geq 80$ К. При $B \approx 15$ Тл наблюдался магнитоплазменный эффект с изменением пропускания, близким к 100%. Определено магнитоплазменное время релаксации. Показана возможность использования таких образцов в качестве инфракрасных оптических клапанов с быстродействием не хуже 10^{-4} с.

Исследовано пропускание излучения инфракрасного (ИК) лазера ($\lambda = 10.6$ мкм) симметричной полосковой линией (СПЛ), представляющей собой две половинки монокристалла сурьмы, разделенные зазором порядка длины волны излучения. Измерения проводились в импульсных магнитных полях с индукцией до 25 Тл, в температурном интервале $80 \div 140$ К. Применяемая методика и техника эксперимента, описана ранее [1].

Резкий рост коэффициента пропускания СПЛ в зависимости от магнитного поля интерпретируется как магнитоплазменный эффект, соответствующий краю магнитоплазменного отражения кристаллов сурьмы [2,3]. Полевое положение края и форма спектра согласуются в результатами работ [2,3] по магнитоплазменному отражению, проведенными при температуре жидкого гелия.

На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость проходящего сигнала от индукции магнитного поля, направленного вдоль бинарной (кривая 1) и бисектрисной оси (кривая 2) для поляризации $E \perp C_3$ (C_3 — тригональная ось). Резкий рост сигнала в полях порядка 15 Тл представляет собой магнитоплазменный эффект.

Комплексная диэлектрическая проницаемость, определяющая взаимодействие излучения с плазмой носителей заряда в магнитном поле при условиях $S \parallel B$, $E \perp B$ (S — волновой вектор), в случае изотропной эффективной массы имеет вид

$$\epsilon_{\pm} = \epsilon_{\infty} \left[1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega \pm \omega_c - i\tau^{-1})} \right] \quad (1)$$

$$\omega_p = \sqrt{Ne^2 / (m^* \epsilon_{\infty})}.$$

Знаки \pm означают левую и правую круговую поляризацию излучения, ω — его частота, ϵ_{∞} — диэлектрическая проницаемость на частотах $\omega \gg \omega_p$, $\omega_c = (eB/m^*)$ — циклотронная частота, N , m^* , τ — концентрация, эффективная масса и время релаксации носителей заряда, ω_p — плазменная частота.

В полуметалле сурьмы учет вкладов электронов и дырок в аддитивном приближении позволяет привести (1) к виду

$$\epsilon_{\pm} = \epsilon_{\infty} \left[1 - \sum_j \frac{\omega_{pj}^2}{\omega(\omega \pm \omega_{cj} - i\tau_j^{-1})} \right]. \quad (2)$$

Суммирование в (2) необходимо выполнить по трем электронным и шести дырочным квазиэллипсоидам с учетом их анизотропии и локализации в зоне Бриллюэна [4]. В расчетах использовались данные: $N_c = N_h = 5.54 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ [5], $\epsilon_{\infty} = 85$ [6].

На рис. 2 представлены экспериментальный (кривая 1) и модельный (кривая 2) спектры пропускания СПЛ в геометрии $B \parallel C_1$, $E \perp C_3$ для $T = 80$ К. Согласие модельных и экспериментальных спектров во всем исследованном интервале температур было достигнуто при значениях эффективных масс для электронов и дырок, совпадающих с их значениями для $T = 4.2$ К [4], что обусловлено сильным вырождением носителей заряда. Наилучшее согласие в форме спектров пропускания

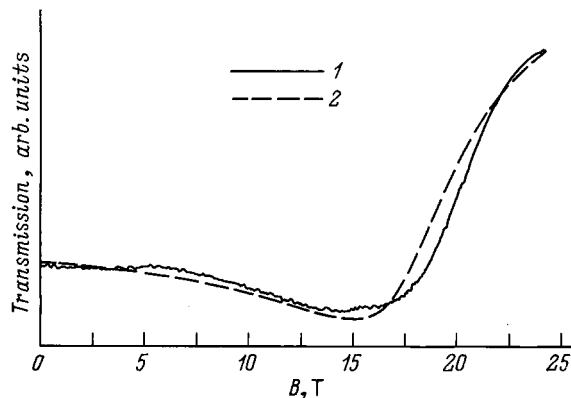


Рис. 1. Зависимость сигнала, проходящего через СПЛ из сурьмы, для $E \perp C_3$ и $B \parallel C_1$ (1), $B \parallel C_2$ (2). $T = 80$ К.

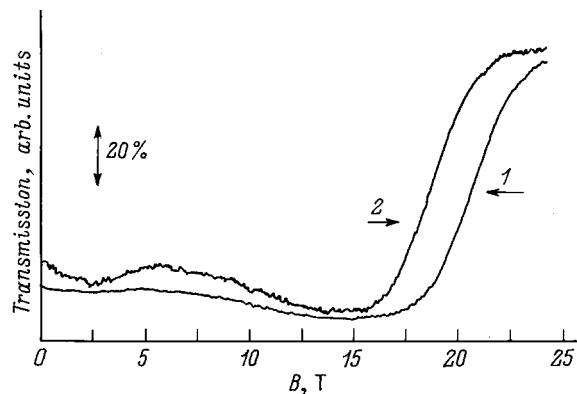


Рис. 2. Экспериментальный (1) и модельный (2) спектры магнитопротекания СПЛ из сурьмы при $E \perp C_3$ и $B \parallel C_1$. $T = 80$ К.

было получено при $\tau = 1.9 \cdot 10^{-13}$ с для $T = 80$ К (рис. 2) и $\tau = 1.3 \cdot 10^{-13}$ с для $T = 140$ К. Согласно модельного на основе (2) спектра магнитоотражения с экспериментальным [2] для $T = 4.2$ К достигается при $\tau = 4 \cdot 10^{-13}$ с. Полученные значения времени релаксации магнитоплазменного эффекта в кристаллах сурьмы указывают на его температурную зависимость, аналогичную наблюдаемой для времени релаксации плазменного отражения в висмуте [7].

Плазменная частота для сурьмы практически совпадает с модой излучения инфракрасного CO_2 -лазера $\lambda = 10.6$ мкм. В результате появляется возможность использования СПЛ из монокристалла сурьмы в качестве перестраиваемого магнитным полем оптического клапана на этой длине волны. Глубина модуляции приближается к 100% (рис. 1), а быстродействие, определяющееся длительностью импульса магнитного поля, оценивается как 10^{-4} с.

Список литературы

- [1] К.Г. Иванов, С.В. Кондаков, С.В. Бровко, А.А. Зайцев. ФТП, **30**, 1585 (1996).
- [2] M.S. Dresselhaus, J.G. Mavroides. Sol. St. Commun., **2**, 297 (1964).
- [3] M.J. Apps. J. Phys. F: Metal. Phys., **4**, 46 (1974).
- [4] W.R. Datars, J. Venderkooy. IBM J. Res. Dev., **8**, 247 (1964).
- [5] Z. Altounian, W.R. Datars. Can. J. Phys., **53**, 459 (1975).
- [6] C. Manney. Phys. Rev., **129**, 109 (1963).
- [7] М.И. Беловолов, А.Д. Белая, В.С. Вавилов, В.Д. Егоров, В.С. Земсков, С.А. Рослов. ФТП, **26**, 1382 (1976).

Редактор В.В. Чалдышев

Magnetoplasma phenomena in single-crystal antimony at $T \geq 80$ K

A.A. Zaitsev, K.G. Ivanov*, V.M. Grabov†

Elets State Pedagogical Institute,
399740 Elets, Russia

* St.Petersburg State University
of Technology and Design,
191186 St.Petersburg, Russia

† Russian State Pedagogical University,
191186 St.Petersburg, Russia

Abstract Transmission spectra of laser radiation with $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ by samples, representing two shared by small backlash symmetric antimony single crystal plate, in pulsing magnetic fields $B \leq 20$ T at temperatures $T = 80$ K are investigated. Magnetoplasma phenomena were observed at $B \approx 15$ T with transmission change, close to 100%. Magnetoplasma relaxation time is determined. A possibility to use such samples as a IR-optical valves with speed not worse 10^{-4} s is shown.