

Взаимодействие терагерцового излучения с монокристаллическим германием

Шахмин А. А.¹, Герасимова В. В.², Мусихин С. Ф.², Кротов Г. И.¹

¹Тидекс, ООО, Санкт-Петербург, 194292

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, 195251

Германий – один из важнейших материалов, применяемых в терагерцовой оптике. Поэтому важно исследовать взаимодействие ТГц излучения с германием, по которому опубликовано небольшое число работ, например в [1].

Мы исследовали спектры пропускания и отражения монокристаллических германиевых пластин с различным уровнем легирования сурьмой в области от 1.88 до 3000 мкм. Всего исследовано одиннадцать пластин толщиной 3 мм и диаметром 50 мм со средним уровнем легирования от $2.46 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ до $9.1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Нижний предел легирования дает при комнатной температуре концентрацию электронов близкую к собственной. Параметры образцов приведены в Таблице 1.

Номер образца, #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Концентрация электронов, см^{-3}	$9.34 \cdot 10^{14}$	$4.12 \cdot 10^{14}$	$2.45 \cdot 10^{14}$	$1.75 \cdot 10^{14}$	$9.7 \cdot 10^{13}$	$7.83 \cdot 10^{13}$	$6.97 \cdot 10^{13}$	$5.97 \cdot 10^{13}$	$5.64 \cdot 10^{13}$	$5.2 \cdot 10^{13}$	$4.86 \cdot 10^{13}$

Поглощение $A(\lambda) = 1 - T(\lambda) - R(\lambda)$ находим, вычитая пропускание $T(\lambda)$ и отражение $R(\lambda)$, λ – длина волны излучения. Спектр поглощения приведен на рис. 1. На основе спектров отражения и поглощения путем численного решения системы нелинейных уравнений находим коэффициент поглощения α , спектр которого приведен на рис. 2. Поглощение в области 200 – 3000 мкм происходит на свободных электронах и дырках [2] $\alpha = A_h(\lambda)p + A_e(\lambda)n$, где A_h и A_e – сечения поглощения дырок и электронов, p и n – концентрации свободных дырок и электронов. Если пренебречь поглощением на дырках при высоком уровне легирования в образцах #1,2,3, то находим $A_e(\lambda)$ и, используя это значение, найдем $A_h(\lambda)$ из спектров поглощения в образцах #9,10,11.

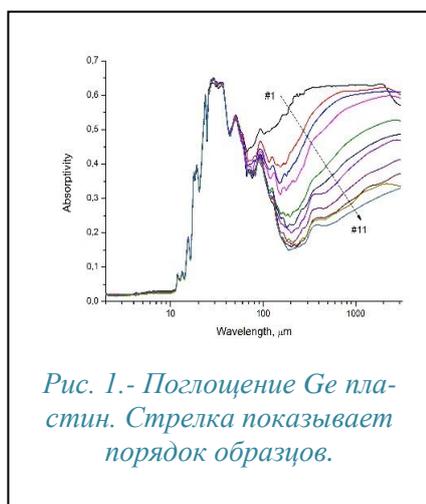


Рис. 1.- Поглощение Ge пластин. Стрелка показывает порядок образцов.

Сечение поглощения электронов растет, а дырок падает с ростом длины волны в диапазоне 200 – 1500 мкм.

- [1] I.A. Karlunov et al., *Optics and spectroscopy*, **126**, 191 (2019).
 [2] C.J. Hatchinson et al., *Appl. optics*, **21**, 1490 (1982).

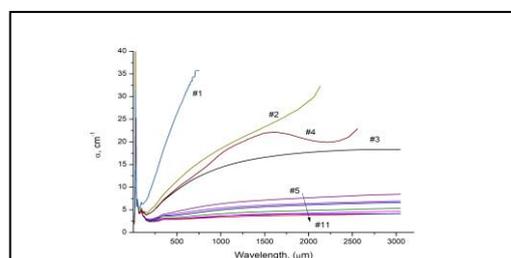


Рис.2. Коэффициент поглощения α .

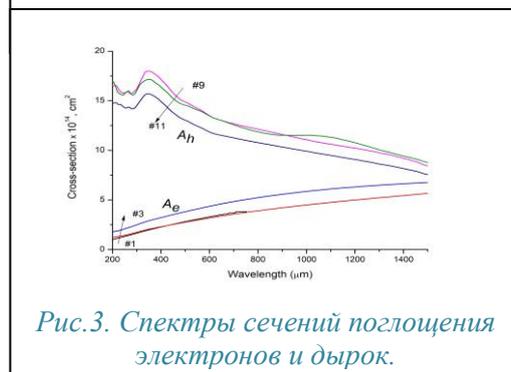


Рис.3. Спектры сечений поглощения электронов и дырок.