

А.А. ШАХМИН, В.В. ГЕРАСИМОВА¹, С.Ф. МУСИХИН¹,
Г.И. КРОПОТОВ

ООО «Тидекс», Санкт-Петербург

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ КРЕМНИИ

В терагерцовом диапазоне спектра экспериментально исследованы пропускание и отражение монокристаллического кремния. Определены оптические параметры кремния при различных уровнях легирования фосфором в области от 200 до 3000 мкм. Всего исследовано двенадцать пластин толщиной 5 мм и диаметром 50 мм.

A.A. SHAKHMIN, V.V. GERASIMOVA¹, S.F. MUSIKHIN¹,
G.I. KROPOTOV

Tidex LLC, Saint-Petersburg

¹*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University*

ABSORPTION OF TERAHERTZ RADIATION IN MONOCRYSTALLINE SILICON

The transmission and reflection of monocrystalline silicon were experimentally studied in the terahertz spectral range. The optical parameters of silicon were determined at different levels of phosphorus doping in the range from 200 to 3000 μm . A total of twelve wafers with a thickness of 5 mm and a diameter of 50 mm were studied.

Кремний – один из главных материалов современной электроники [1]. Для исследования взаимодействия терагерцового излучения с монокристаллическим кремнием мы использовали заготовки кремния диаметром 50 мм и толщиной 5 мм, изготовленные компанией ТЕРРА, Россия. Затем заготовки были отполированы с двух сторон в компании «Тидекс». Ориентация исследованных пластин, кроме #7, (100), пластина #7 имеет ориентацию (111). Кремний легирован фосфором, что даёт *n*-тип проводимости. Было исследовано двенадцать пластин с удельным сопротивлением от 0.2 до 10 Ом·см, результаты приведены в табл. 1. Исследованы спектры пропускания ($T(\lambda)$) и отражения ($R(\lambda)$) в области 1,11 - 3000 мкм. Спектры поглощения $A(\lambda)$ получены как $1 - T(\lambda) - R(\lambda)$ (рис. 1), λ – длина волны излучения.

Таблица 1

№ образца (#)	1	2	3	4	5	6
Концентрация электронов, см ⁻³	3,47·10 ¹⁶	1,51·10 ¹⁶	9,25·10 ¹⁵	6,54·10 ¹⁵	5,00·10 ¹⁵	3,33·10 ¹⁵
№ образца (#)	7	8	9	10	11	12
Концентрация электронов, см ⁻³	2,50·10 ¹⁵	1,67·10 ¹⁵	1,25·10 ¹⁵	8,33·10 ¹⁴	6,25·10 ¹⁴	5,00·10 ¹⁴

На основе спектров отражения и поглощения путём численного решения системы нелинейных уравнений найден коэффициент поглощения α , спектр которого приведён на рис. 2. Поглощение в области 30 - 3000 мкм происходит на свободных электронах $\alpha = L(\lambda) + A_e(\lambda)n$ [2], где $L(\lambda)$ описывает переходы с участием фононов (8 - 30 мкм) (решёточное поглощение), A_e – сечение поглощения электронами, n – концентрация электронов. Поглощение в терагерцовой области спектра растёт с ростом концентрации электронов. При длинах волн выше длины волны плазменного резонанса растёт отражение и, следовательно, уменьшается доля поглощения. Изменение коэффициента поглощения α с длиной волны, как видно из рис. 2, соответствуют теории Друде [3].

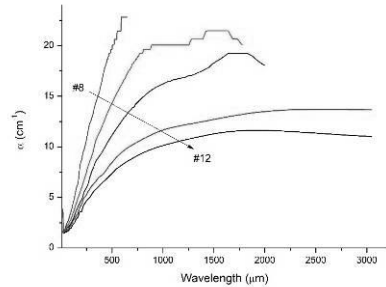
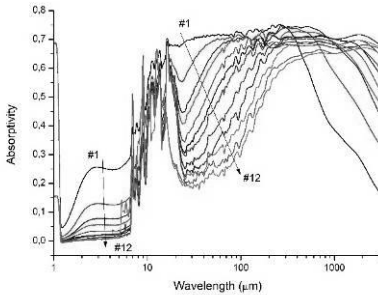


Рис. 1. Спектр поглощения Si пластин Рис. 2. Коэффициент поглощения α

Список литературы

1. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Hoboken, 2007.
2. Hatchinson C.J., et al. // Appl. Optics. 1982. V. 21. P. 1490.
3. Nashima S., et al. // Appl. Phys. Letters. 2001. V. 79. P. 3923.