

РЕКОМБИНАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ НА ДИСЛОКАЦИЯХ В КРЕМНИИ

Н.А. Дроздов, А.А. Патрин, В.Д. Ткачев

Впервые обнаружено рекомбинационное излучение, связанное с дислокациями в кремнии. При $T = 4,2\text{K}$ дислокационному излучению соответствует серия линий с энергией в максимуме $0,812$, $0,875$, $0,934$ и $1,000$ эв.

Известно, что дислокации в кремнии могут быть электрически активными и вносить в запрещенную зону локальные энергетические уровни [1, 2]. Вместе с тем в литературе не сообщалось о рекомбинационном излучении в кремнии, связанном с дислокациями, как это имеет место в германии [3].

Нами проведены эксперименты по обнаружению рекомбинационного излучения на дислокациях в кремнии. Исследовались образцы Si n -типа, с $\rho = 7 \text{ ом} \cdot \text{см}$ размером $24 \times 1,5 \times 1,5 \text{ мм}^3$ с ориентацией ребер $[\bar{1}\bar{2}3]$, $[\bar{5}41]$ и $[111]$, соответственно. Дислокации вводились в центральную часть кристалла путем четырехточечного изгиба при $T = 850^\circ\text{C}$. Плотность дислокаций в центральной части образцов составляла $D \approx 4 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$. В торцевых областях дислокации не вводились и соответствовали $D \leq 6 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$, как и в контрольных, недеформированных образцах.

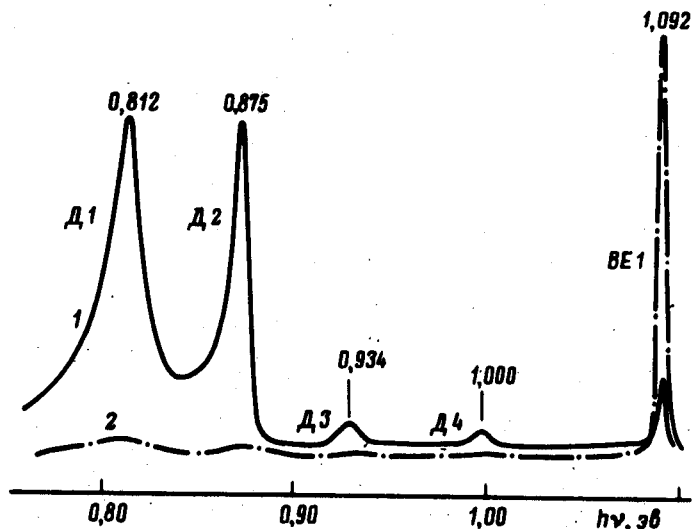


Рис. 1. Спектр ФЛ кремния, $T = 4,2\text{K}$: 1 – центральная часть, $D \approx 4 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$; 2 – торцевая часть кристалла, $D \approx 4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$

Фотолюминесценция (ФЛ) кристаллов, погруженных в жидкий гелий, возбуждалась светом ксеноновой лампы с максимальной световой мощностью $\sim 50 \text{ мвт}$ в пучке диаметром 3 мм , модулированном с частотой

9.2 ц. Излучение регистрировалось через решеточный монохроматор охлаждаемым фотоприемником из компенсированного германия.

Спектры ФЛ при возбуждении различных частей кристалла приведены на рис. 1. Наблюдаемый спектр условно можно разделить на две области — "собственную" ($h\nu > 1,02 \text{ эв}$) и "примесную" ($h\nu < 1,02 \text{ эв}$). Изучение в "собственной" области достаточно изучено [4, 5]. В наших образцах оно характерно для торцевых областей кристалла с малой плотностью дислокаций и обусловлено, главным образом, аннигиляцией экситонов и многоэкситонных комплексов, связанных на атомах фосфора. Доминирующая линия ВЕ1 с энергией $1,092 \text{ эв}$ определяется связанным экситоном, аннигилирующим с испусканием LO (либо TO) фонона.

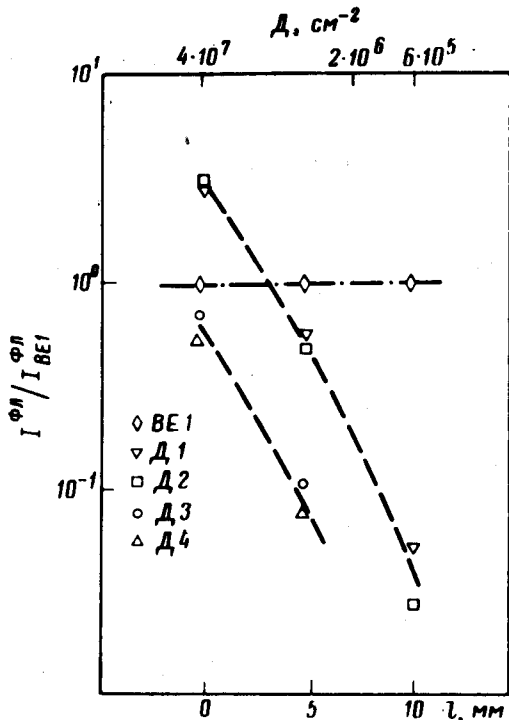


Рис. 2. Нормированная интенсивность линий ФЛ при возбуждении областей кристалла с различным содержанием дислокаций

Интенсивность "собственного" излучения падает с приближением к центральной, сильно дислокационной части кристалла. Одновременно возрастает по интенсивности группа линий Д1, Д2, Д3, Д4 с энергией в максимумах $0,812$, $0,875$, $0,934$ и $1,000 \text{ эв}$. Наиболее интенсивные линии Д1 и Д2 сильно различаются по форме. Спектральная ширина несимметричной линии Д2 (по полувысоте) $\Delta E_2 = 6,6 \pm 0,5 \text{ мэв}$ при $T = 4,2\text{К}$ в то время, как симметричная линия Д1 имеет $\Delta E_1 = 17 \text{ мэв}$ и длинноволновое крыло. Поскольку интенсивность ФЛ ($I^{ФЛ}$) связана с временем жизни, которое в свою очередь может быть неодинаково вдоль кристалла (в зависимости от плотности дислокаций), мы построили зависимость $I^{ФЛ}$ всех линий в спектре как функцию расстояния от центра кристалла, нормировав их на линию ВЕ1 (рис. 2). Как видно из рисунка, вся группа линий Д1 — Д4 резко падает по интенсивности с приближением к "бездислокационному" торцу, причем относительное изменение интенсивности для всей группы линий одинаково. Вверху даны реперные точки в которых была измерена плотность дислокаций в образце.

Отметим дополнительно следующие особенности обнаруженного излучения: а) линия ДЗ коррелирует с уровнем дислокации $E_V + 0,27 \text{ эв}$ [2]; б) линии Д1, Д2, Д3, Д4 расположены приблизительно на одинаковом расстоянии ($62 \pm 3 \text{ мэв}$) друг от друга, и это энергетическое расстояние соответствует энергии оптических фононов в кремнии; в) отмечен эффект сильной сублинейной зависимости интенсивности линий Д1 – Д4, как функции уровня возбуждения g . При линейной зависимости излучения в линии ВЕ1 излучение указанных линий меняется как $I \sim g^{1/n}$, где n равно 2 – 3 для различных линий.

Приведенные экспериментальные данные указывают на то, что обнаруженная серия линий фотолюминесценции Д1 – Д4 непосредственно связана с наличием в кристалле дислокаций.

Отметим в заключение, что характерное дислокационное излучение обнаружено нами и в кремнии p -типа.

Белорусский
государственный университет
им. В. И.Ленина

Поступила в редакцию
3 мая 1976 г.

Литература

- [1] В.Г.Еременко, В.И.Никитенко, Е.Б.Якимов. ЖЭТФ, 67, 1148, 1974.
- [2] Е.Б.Якимов, В.Г.Еременко, В.И.Никитенко. ФТП, 10, 386, 1976.
- [3] А.А.Гиппиус. Труды ФИАН, 37, 3, 1967.
- [4] P. J. Dean, J. R. Haynes, W. F. Flood. Phys. Rev., 161, 711, 1967.
- [5] А.С.Каминский, Я.Е.Покровский, Н.В.Алкеев. ЖЭТФ, 59, 1937, 1970.