

РАССЕЯНИЕ СВЕТА В Ge *n*-ТИПА ПРИ ОБЪЕМНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

*Б.В. Зубов, В.П. Калинушкин, Б.Б. Крынецкий
В.А. Мишин, Т.М. Мурина, А.М. Прохоров*

Приведены результаты экспериментов по рассеянию излучения CO₂-лазера на флуктуациях плотности неравновесных носителей вокруг дефектов. Определен средний статистический размер дефектов ($r \sim 8$ мк).

Рассеяние света в образцах монокристаллического Ge при оптической накачке наблюдалось рядом авторов [1, 2] при температурах ниже 4,2°К и связывалось с образованием электроннодырочных капель (ЭДК). Проведенные нами эксперименты по рассеянию показали, что в Ge *n*-типа имеет место рассеяние на флуктуациях плотности неравновесных носителей в широком интервале температур: 10 – 300°К.

В экспериментах исследовались образцы Ge с концентрацией примесных центров от 10^{11} см⁻³ до нескольких единиц 10^{13} см⁻³. Размер рабочей части кристалла $5 \times 5 \times 5$ мм³. Поверхность кристалла полировалась с оптической точностью.

Объемное возбуждение неравновесных носителей осуществлялось методом двухфотонного поглощения [3] при облучении образцов Ge излучением диспрозиового лазера ($\lambda = 2,36$ мкм), работающего в режиме гигантских импульсов ($\tau = 40$ нсек) с частотой 300 – 400 Гц [4].

Фокусировка излучения диспрозиового лазера цилиндрической линзой с $F = 70$ мм на торец кристалла позволила создать область неравновесных носителей $5 \times 5 \times 2$ мм³.

Для получения рассеяния был применен гетеродинный приемник в диапазоне 10 мкм [5]. В экспериментах использовался CO₂-лазер с выходной мощностью 1 вт, работающий в режиме непрерывной гене-

рации на основной моде TEM_{00q} . Зондирующий луч CO_2 -лазера диаметром 3 мм направлялся перпендикулярно большему размеру области неравновесных носителей ($5 \times 5 \text{ мж}^2$), что позволило исключить влияние рефракционных явлений.

Собранная экспериментальная установка давала возможность снять диаграмму рассеяния как в прямом, так и в обратном направлении в диапазоне углов $2 - 30^\circ$, по отношению к зондирующему лучу. Диаграмма снималась перемещением и поворотом одного из зеркал в плече интерферометра Маха – Пандера, направляющего часть рассеянного излучения через диафрагму на фотоспротивление $Ge - Hg$. Применение метода оптического гетеродинамирования позволило реализовать высокое угловое разрешение 10^{-4} рад и чувствительность 10^{-16} ат/гц .

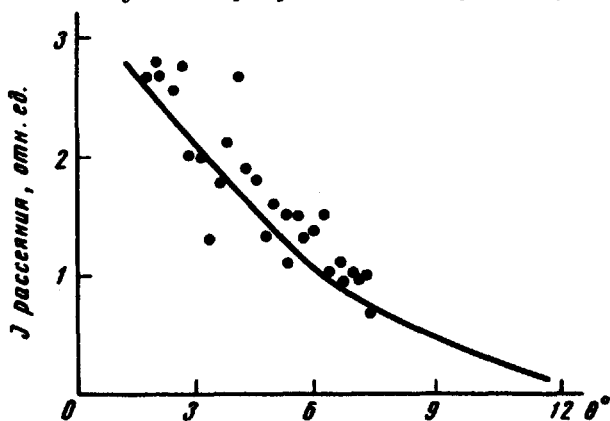


Рис. 1. Диаграмма рассеяния излучения CO_2 -лазера флуктуациями плотности неравновесных носителей в Ge n -типа (сплошная линия – расчет выполненный в приближении Релея – Ганса, $r = 8 \text{ мж}$)

На рис. 1 приведена диаграмма рассеянного излучения CO_2 -лазера измеренная в направлении зондирующего луча при температуре образца $300^\circ K$ и концентрации неравновесных носителей 10^{15} см^{-3} . Анализ кривой рассеяния показал, что наблюдаемая диаграмма достаточно хорошо аппроксимируется кривой рассчитанной в приближении Релея – Ганса [6] для частиц в форме шара с характерным размером 8 мж (конечно, это значение радиуса следует рассматривать как некоторое приближение, соответствующее статистически усредненному значению по неоднородностям различных размеров и различной формы).

На рис. 2 приведены временные зависимости рассеянного излучения CO_2 -лазера (рис. 2, а) и сигнал поглощения этого излучения неравновесными носителями (рис. 2, б). Из приведенных осциллограмм видно, что рассеянный сигнал повторяет сигнал поглощения. Для выявления природы рассеяния был сделан ряд дополнительных экспериментов. Так, в отсутствие возбуждения, и при 100% модуляции зондирующего излучения, в пределах чувствительности нашей установки, обнаружить рассеяние не удалось. Рассеяние удается зарегистрировать при концентрации неравновесных носителей 10^{14} см^{-3} . Существенных изменений углового распределения рассеяния с изменением уровня возбуждения не наблюдалось, в то время как интенсивность рассеяния растет нелинейно с концентрацией носителей.

При понижении температуры от 300 до $10^\circ K$ интенсивность рассеянного света увеличивается примерно на порядок, без значительных изменений в угловом распределении.

На основании приведенных данных можно сделать предположение, что рассеяние света обусловлено флуктуациями плотности неравновесных носителей на различного типа дефектах в кристаллах Ge. На возможность существования таких дефектов в объеме кристалла указывалось в работе [7]. По приведенным данным концентрация дефектов размером от 1 до 10 мк составляет $10^4 - 10^6 \text{ см}^{-3}$.

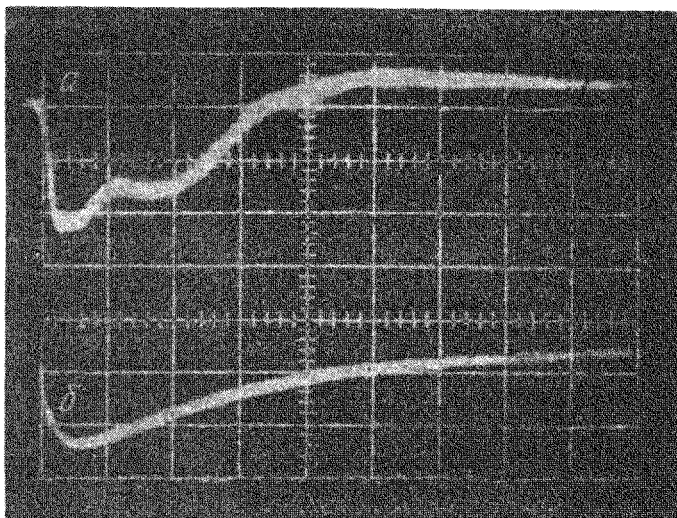


Рис. 2. Временная зависимость рассеянного и поглощенного сигнала излучения CO_2 -лазера: *a* – сигнал рассеяния; *b* – сигнал поглощения (развертка – 50 мксек/дел)

Относительно природы этих дефектов пока трудно сделать какие-либо определенные выводы. Из того факта, что рассеяние не наблюдалось в отсутствие возбуждения, можно предположить, что для этих эффектов отличие показателя преломления Δn от среднего по Ge меньше, чем 10^{-4} .

Такое значение Δn может быть связано с наличием в кристалле областей локальных натяжений или вкраплением аморфного Ge.

Величину Δn обуславливающую рассеяние при возбуждении можно оценить из интенсивности рассеяния в предположении, что число рассеивающих центров не меняется, и соответствует $10^4 - 10^6 \text{ см}^{-3}$.

Оценки по диаграмме рассеяния снятой при 300°K и уровне возбуждения 10^{15} см^{-3} дают для Δn величину порядка 10^{-4} . Если связывать это изменение в показателе преломления с флуктуациями плотности в электроннодырочном газе, то по теории Друде определенному значению Δn должна соответствовать избыточная концентрация в 4 – 6 раз превышающая среднюю. По-видимому, для объяснения существования таких флуктуаций плотности необходимо предположить наличие потенциальных ям (барьеров) в несколько десятков мэв.

В рамках этого предположения можно объяснить наблюдаемое в экспериментах при 10°K возрастание интенсивности рассеяния, увеличением избыточной концентрации носителей с понижением температуры,

Однако, для детального расчета этой зависимости необходимо наряду с учетом экранирования, знание природы дефектов и их количества.

В заключение авторы выражают признательность Л.В.Келдышу и Н.А.Пенину за полезные обсуждения.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 июня 1974 г.

Литература

- [1] Я.Е.Покровский, К.И.Свистунова. Письма в ЖЭТФ, 13, 297, 1971.
 - [2] Н.Н.Сибельдин, В.С.Багаев, В.А.Цветков, Н.А.Пенин. ФТТ, 15, 177, 1973.
 - [3] Б.В.Зубов, Т.М.Мурина, Б.Р.Оловягин, А.М.Прохоров. ФТП, 5, 636, 1971.
 - [4] В.В.Костин, Л.А.Кулевский, Т.М.Мурина, А.М.Прохоров, А.А.Тихонов. ЖПС, 6, 33, 1967.
 - [5] И.И.Душков, Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, В.А.Мишин, Р.П.Петров. РиЭ, 17, 345, 1972.
 - [6] Г. ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М., ХИА, 1961.
 - [7] Н.А.Хонцевой. ФТП, 6, 1184, 1970.
-