

ДВИЖЕНИЕ ЭДК ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ВЗАИМНОГО ОТТАЛКИВАНИЯ

*А.Д.Дурандин, Н.Н.Сибельдин, В.Б.Стопачинский
В.А.Цветков*

Методом рассеяния света исследовалась кинетика пространственного распределения электронно-дырочных капель (ЭДК) в германии при объемном импульсном возбуждении. Показано, что существуют две стадии движения капель: "быстрое" движение, при котором формируется капельное облако, и "медленное", обусловленное взаимным отталкиванием ЭДК.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию движения ЭДК, возникающего при высоких уровнях возбуждения [1 — 6]. В данной работе удалось проследить эволюцию пространственного распределения капель во времени при объемном возбуждении и на основании этого сделать заключение о причинах, порождающих движение ЭДК.

Источником объемного возбуждения служил импульсный лазер на парах бария ($\lambda = 1,5$ мкм, длительность импульса $\tau_{\text{и}} \sim 20$ нсек, частота следования $f \sim 3 \div 4$ кГц). Возбуждающее излучение фокусировалось на переднюю поверхность образца в пятно диаметром ~ 300 мкм. Тем са-

мым неравновесные носители создавались в цилиндре с диаметром основания ~ 300 мкм и высотой 3 мм (толщина образца), т. е. была реализована цилиндрическая геометрия опыта (с точностью до неоднородности в распределении носителей по толщине образца).

Распределение ЭДК по образцу в любой момент времени после возбуждающего импульса (временное разрешение $\sim 0,5$ мксек) регистрировалось по сигналам рассеяния, либо поглощения зондирующего излучения с длиной волны 3,39 мкм, направленного параллельно оси возбуждающего цилиндра. Более подробно оптическая схема установки описана в [7]. Измерения были выполнены на механически полированных образцах германия с концентрацией остаточных примесей меньше 10^{12} см $^{-3}$.

На рис. 1 приведены зависимости поглощения (диаметр зондирующего пучка ~ 1 мм) и интегральной интенсивности рекомбинационного излучения ЭДК от уровня возбуждения при температурах $T = 1,7$ и 4,2 К. В этом опыте возбуждающий и зондирующий пучки были совмещены ($r = 0$), а измерения проводились через 2 мксек после возбуждающего импульса. Из рисунка видно, что интегральная (по объему образца) интенсивность рекомбинационного излучения растет линейно от уровня возбуждения, тогда как сигнал поглощения при увеличении интенсивности возбуждения начинает резко уменьшаться. Такое поведение сигнала поглощения можно объяснить уходом капель из зондирующего пучка. При понижении температуры подвижность капель, а, следовательно, и скорость их движения возрастают, и поэтому спад поглощения становится более резким.

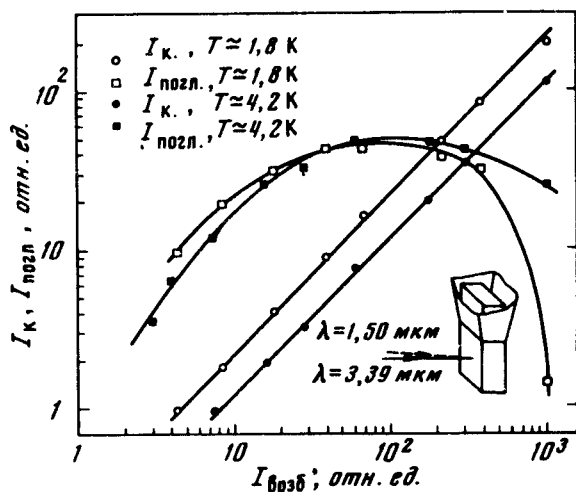


Рис. 1. Зависимости сигнала поглощения $I_{\text{погл}}$ и интенсивности рекомбинационного излучения ЭДК I_K от уровня возбуждения $I_{\text{возб}}$

Зависимости концентрации капель в трех точках образца (пространственное разрешение ~ 300 мкм) от времени приведены на рис. 2. Концентрация капель вычислялась по сигналу рассеяния без учета распределения ЭДК по размерам [8]. Как видно из рис. 2, в каждый момент времени ЭДК сосредоточены, в основном, в узком цилиндрическом слое,

средний радиус которого постепенно растет¹⁾. Причем в начале наблюдается довольно быстрое увеличение радиуса цилиндрического слоя, а затем движение капельного облака существенно замедляется. Например, как следует из наших опытов, скорость изменения внешнего радиуса слоя через 0,5 мксек после действия возбуждающего импульса составляет $\sim 10^5$ см/сек и в течение первых 10 мксек резко уменьшается. Затем наблюдается сравнительно медленная фаза движения капельного облака, характеризующаяся средними скоростями $\sim 3 \cdot 10^3$ см/сек (от $r = 2$ мм до $r = 3,5$ мм) и относительно слабым уменьшением мгновенной скорости.

Теория фононного ветра [2, 3] не может объяснить образование цилиндрического слоя ЭДК, если первоначальное распределение капель было однородным. Вероятнее всего этот эффект, также как и "быстрая" фаза движения, связаны с возникновением мощного механизма генерации фононов при высоких концентрациях неравновесных носителей. Этот механизм сравнительно быстро затухает, о чем говорит резкое уменьшение мгновенной скорости переднего фронта капельного облака в течение первых 10 мксек. Однако, механизм генерации фононов и состояние носителей, излучающих эти фононы, в настоящей момент не ясны.

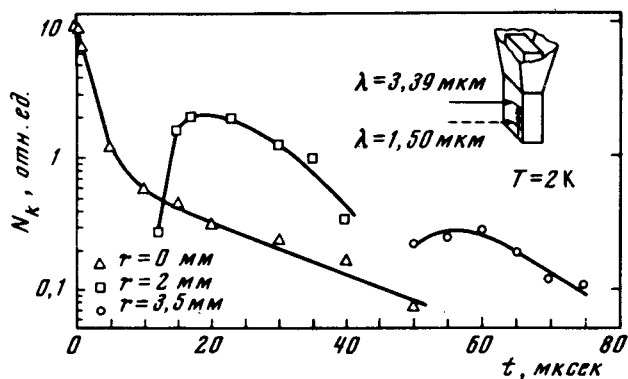


Рис. 2. Зависимости концентрации капель N_K в трех точках образца от времени t

Дальнейшее "медленное" движение слоя происходит вследствие взаимного отталкивания ЭДК, возникающего благодаря генерации фононов самими каплями [2, 3]. В этом случае изменение внешнего радиуса цилиндрического слоя с течением времени t описывается выражением [3]

$$r(t) = r(t_0) \left\{ 1 + \frac{4 \tau_0 \tau_P}{n_0^2 m^* r^2(t_0)} \rho^2 N_c(t_0) \left[1 - \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_0}\right) \right] \right\}^{1/2},$$

где τ_0 — время жизни носителей в жидкой фазе, n_0 — их плотность, τ_P — время релаксации импульса носителей в ЭДК, m^* — эффективная мас-

¹⁾ Впервые образование слоя ЭДК наблюдалось в [1] и до настоящего времени не имело удовлетворительного объяснения.

са электронно-дырочной пары, ρ — константа отталкивательного взаимодействия, явный вид которой приведен в [3]¹⁾ и $N_{\Sigma}(t_0)$ — число носителей в жидкой фазе, приходящееся на единицу длины цилиндра. Пользуясь этим выражением, оценим ρ . При $\tau_0 = 40$ мксек, $\tau_p = 2 \cdot 10^{-8}$ сек, $n_0 = 2 \cdot 10^{17}$ см⁻³, $m^* = 0,4 m_0$, $t = 12$ мксек, $t = 50$ мксек, $r(t_0) = 2$ мм, $r(t) = 3,5$ мм и $N_{\Sigma}(t_0) \approx 6 \cdot 10^{13}$ см⁻¹ получаем $\rho \approx 100$ $\frac{1}{2} \cdot \text{см}^{-3/2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Расхождение этого значения с определенным в [4], возможно объясняется тем обстоятельством, что в [4] не проводилось разделение движения капель на быструю и медленную фазы. Аналогичное замечание относится и к работам [5, 6], где, по-видимому, имела место именно быстрая фаза движения.

В заключение хотелось бы выразить благодарность В.С.Багаеву и Л.В.Келдышу за постоянное внимание и полезные обсуждения, Б.Д.Копыловскому за помощь в изготовлении электронной аппаратуры, Н.В.Замковец за помощь при проведении экспериментов.

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

Поступила в редакцию
21 июля 1977 г.

Литература

- [1] T.C.Damen, J.M.Worlock. Proc. Third Int. Conf. on Light Scattering on Solids. Campinas, Brazil, 1975, p. 183; J.M.Worlock. Proc. First Soviet-American Symposium on Theory of Light Scattering in Solids, Moscow, 1975, p. 195.
- [2] В.С.Багаев, Л.В.Келдыш, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков. ЖЭТФ, 70, 702, 1976.
- [3] Л.В.Келдыш. Письма в ЖЭТФ, 23, 100, 1976.
- [4] Т.А.Астемиров, В.С.Багаев, Л.И.Падучих, А.Г.Поярков. Письма в ЖЭТФ, 24, 225, 1976.
- [5] Т.А.Астемиров, В.С.Багаев, Л.И.Падучих, А.Г.Поярков. ФТТ, 19, 937, 1977.
- [6] Б.М.Ашкинадзе, И.М.Фишман. ФТП, 11, 301, 1977.
- [7] В.С.Багаев, Н.В.Замковец, Н.А.Пенин, Н.Н.Сибельдин, В.А.Цветков. ПТЭ, №2, 242, 1974.
- [8] Н.Н.Сибельдин, В.С.Багаев, В.А.Цветков, Н.А.Пенин. ФТТ, 15, 177, 1973.

¹⁾ В нашей работе [2] рассматривалось два механизма взаимодействия неравновесных фононов с ЭДК: поглощение фононов и их рассеяние. По-видимому, "фононный ветер" определяется, главным образом, процессом поглощения длинноволновых фононов, а приведенная в [2] теоретическая оценка вероятности рассеяния коротковолновых фононов сильно завышена.