

НЕРЕЗОНАНСНАЯ СВЕРХМИГРАЦИЯ В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ОБРАЗЦАХ РУБИНА

В.Р.Нагибаров, И.А.Нагибарова, А.М.Шегеда

Экспериментально наблюдается укорочение времени миграции энергии электронного возбуждения между одиночными ионами Cr^{3+} и обменными парами $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$ при температуре 1,8 К и лазерном возбуждении ионов Cr^{3+}

Как было показано в работах [1], лазерное возбуждение оптических центров в кристаллах при длительностях импульса $\tau_u < T_1, T_2, T_2^*$ (T_1, T_2, T_2^* соответственно время продольной, поперечной обратимой и необратимой фазовой релаксации) ведет к возникновению сверхмиграции (СМ), которая выражается в значительном укорочении времени некогерентной миграции энергии электронного возбуждения (t_0). Когда передача энергии осуществляется между центрами, возбужденные состояния которых ($\hbar\omega_d, \hbar\omega_a, d(a)$ – индекс донора (акцептора)) отличаются на величину $\hbar(\omega_d - \omega_a) \leq \hbar\omega_D$ (ω_D – частота Дебая), время нерезонансной СМ ($t_{\text{СМ}}$) описывается формулой [2, 3]:

$$t_{\text{СМ}} \approx \frac{(2\omega_a - \omega_d)}{\omega_d l^2 N_0^2 \lambda^4} \left(\frac{T_2}{T_2^*} \right)^2 t_0 = \gamma t_0, \quad (1)$$

где N_0 см⁻³ – число акцепторов, $\lambda = 2\pi c \omega_d^{-1} n^{-1}$, c – скорость света, n – показатель преломления, l – толщина образца, $T_2 \approx 10^{-10} C_0^{-1}$, C_0 – концентрация в атомных единицах.

Нами экспериментально исследовалась нерезонансная СМ между системой одиночных ионов Cr^{3+} и обменно-связанными парами $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$ в образцах рубина с концентрацией $\text{Cr}^{3+} - 0,5\%$ и $1,5\%$ при температуре $T = 1,8\text{К}$. Для этих образцов $T_2 = (1 + 2) \cdot 10^{-8}$ сек, а экспериментально полученное нами T_2^* для $N_2 =$ линии равно $(1,8 + 2) \cdot 10^{-11}$ сек;

согласно (1) $\gamma \approx 10^{-3}$. Возбуждение K_1 - линии ионов производилось рубиновым ОКГ с активной модуляцией добротности. Стержень ОКГ охлаждался жидким азотом, τ_u не превышала 10 $\mu\text{сек}$. Люминесценция R_1 - и N_2 -линий выделялась монохроматором и наблюдалась на экране запоминающего двухлучевого осциллографа С1-42. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

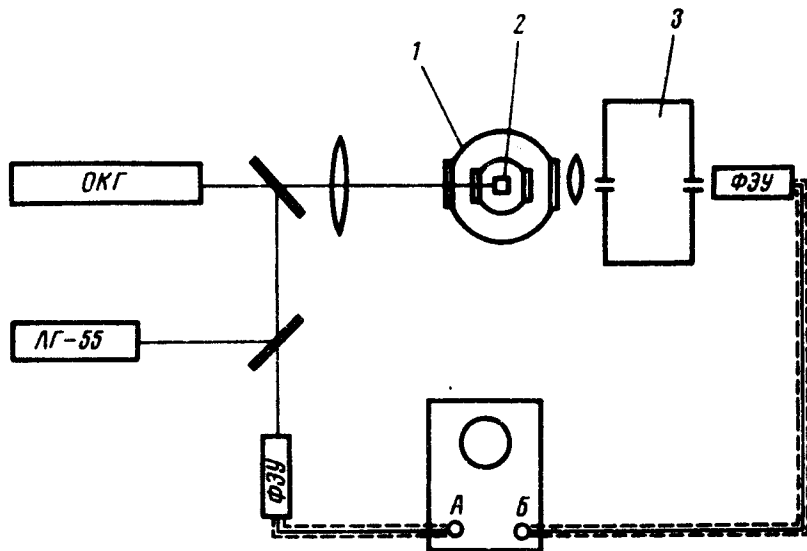


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки : 1 - криостат, 2 - образец, 3 - монохроматор

Приведенная формула (1) описывает время, за которое половина акцепторных частиц переводится в возбужденное состояние за счет миграции от системы доноров. Ввиду того, что масштаб времени на рис. 2, а большой, а $t_{\text{СМ}}$ мало, рис. 2, а не дает возможность определить величину $t_{\text{СМ}}$. Однако время распада, полученное из этой осциллограммы, хорошо согласуется с данными других авторов [4, 5]. Это говорит о том, что спонтанный распад N_2 -линии протекает некогерентно. А поскольку интенсивность некогерентной люминесценции пропорциональна заселенности возбужденных состояний N_2 -линии, то $t_{\text{СМ}}$ есть время достижения половины максимальной интенсивности люминесценции N_2 -линии. Для определения порядка величины необходимо было более детально прописать передний фронт кривой люминесценции N_2 -линии. Соответствующие типичные осциллограммы приведены на рис. 2, б и 2, в.

В результате ряда измерений было получено, что среднее значение для концентрации $\text{Cr}^{3+} - 1,5\%$ $t_{\text{СМ}} \approx 7 \cdot 10^{-6}$ сек, для $\text{Cr}^{3+} - 0,5\%$ $t_{\text{СМ}} \approx 10^{-6}$ сек. В то же время некогерентное возбуждение донорных примесей дает $t_0 \approx 10^{-3}$ сек [6, 7], т. е. возникновение СМ ведет к уменьшению времени передачи в $\gamma \sim 10^{-3}$ раз в полном согласии с (1). Некоторое увеличение $t_{\text{СМ}}$ для образцов, содержащих 1,5% Cr^{3+} , по сравнению с менее концентрированными образцами связано, вероятно, с уменьшением T_2^* , обусловленным внутренними локальными магнитными полями.

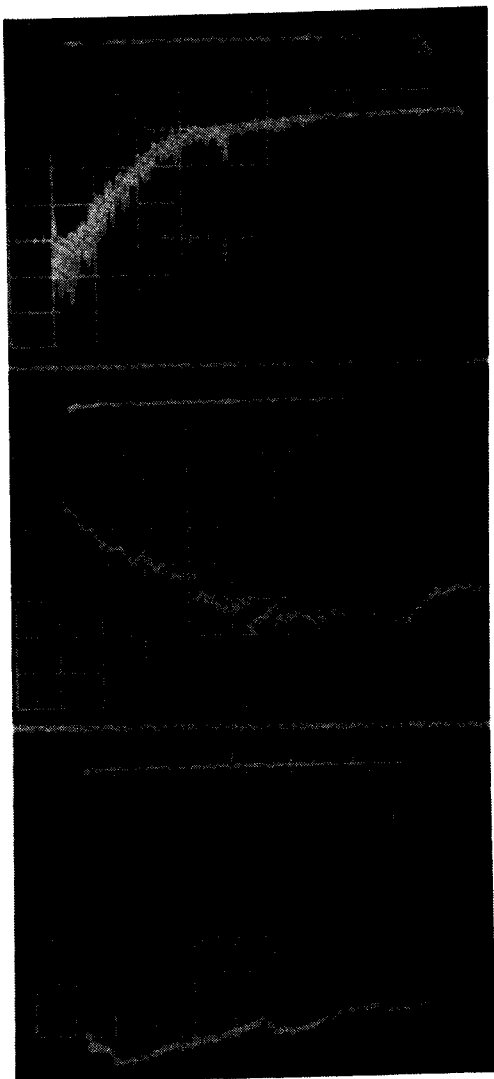


Рис.2. Осциллограммы возбуждающего импульса (вверху) и люминесценции N_2 -линии :

- а) 1 клетка – 500 мксек, 1,5% Cr^{3+} ;
- б) 1 клетка – 5 мксек, 1,5% Cr^{3+}
- в) 1 клетка – 5 мксек, 0,5% Cr^{3+}

Таким образом, этот эксперимент достаточно убедительно демонстрирует возможность интенсификации процессов взаимодействия между различными подсистемами единой квантовомеханической системы. Это может проявиться не только в появлении СМ, но и в ускорении химических, биологических и ядерных реакций при возбуждении подсистем в коллективное состояние.

Авторы весьма признательны В.Г.Торопову и В.А.Пирожкову за помощь в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию
19 ноября 1974 г.

Литература

- [1] В.Р.Нагибаров, И.А.Нагибарова. Тр. I Всесоюз. семинара по безызлучательной передаче энергии в конденсированных средах, Лор, 1969, стр. 33; Phys. Lett., 33A, 507, 1970; УФ, 15, 847, 1971; Оптика и спектроскопия, 31, 70, 1971.

- [2] И.А.Нагибарова. Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 992, 1972.
- [3] И.А.Нагибарова, Р.Г.Усманов, А.М.Шегеда. Изв. АН СССР, сер. физ. 37, 2207, 1973.
- [4] Н.А.Толстой, Лин Шун-Фу, М.Е.Лapidус. Оптика и спектроскопия, 13, 133, 1961.
- [5] I.C.Murphy, L.C.Aamodt, C.K.Jen. Phys. Rev., B9, 2009, 1974.
- [6] G.E.Imbusch. Phys. Rev., 153, 326, 1967.
- [7] J.Heber. Phys. Stat. Sol., 42, 497, 1970.
-