

ГИГАНТСКОЕ УСИЛЕНИЕ ДИФфуЗИИ МЕЖДОУЗЕЛЬНИКОВ В КРИСТАЛЛАХ КСІ ПРИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЯХ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК

*Д.И.Вайсбурд, Г.А.Месяц, В.А.Москалев,
И.П.Рудаменко, М.М.Шафир*

Впервые наблюдалось гигантское усиление диффузии междуузельников в результате их перезарядки при высокой плотности электронов и дырок, возникающей в треке тяжелой заряженной частицы или при импульсном облучении кристалла электронным пучком.

Ионизирующее излучение создает в ионном кристалле типа КСІ междуузельники двух сортов — атомы Cl_M^0 и ионы Cl_M^- . Они диффундируют в результате классического перескокового движения с энергиями активации: $E_a = 0,07 \dots 0,08$ эВ для атомов Cl_M^0 и $E_i = 0,03 \dots 0,05$ эВ для ионов Cl_M^- . Междуузельные атомы Cl_M^0 возникают в составе пар дефектов: $\text{Cl}_M^0 + F$ -центр. Все виды ионизирующих излучений создают такие пары в КСІ с огромным выходом ($5 \dots 10$ пар/100 эВ) благодаря тому, что каждая электронно-дырочная пара или экситон способны создать в бездефектной решетке френкелевскую пару дефектов (см. обзор ⁴). При облучении кристалла малоинтенсивными электронными или рентгеновскими пучками плотность свободных электронов и дырок мала и междуузельник диффундирует в нейтральном зарядовом состоянии (Cl_M^0). При высоких плотностях свободных электронов становится значительной вероятность перезарядки и в процессе диффузии междуузельный атом, захватив электрон, превращается в ион: $\text{Cl}_M^0 + e^- = \text{Cl}_M^-$. При этом коэффициент классической диффузии возрастает в $\exp[(E_a - E_i)/kT]$ раз, что составляет $10^1 \dots 10^5$ в зависимости от температуры. В наших экспериментах впервые наблюдалось это явление. Скорость диффузии междуузельников определяли по выходу низкотемпературной диссоциации F_2 -центров ¹⁾ Действительно, чтобы осуществить диссоциацию F_2 -центра, т.е. разделить его на два удаленных неподвижных F -центра, необходимо сместить ион (атом) СІ из некоторого анионного узла и перенести в один из двух анионных узлов, занимаемых F_2 -центром. Поэтому относительный выход диссоциации F_2 -центров пропорционален скорости перемещения междуузельных анионов. Известно, что в КСІ при температурах выше 250 К подвижны анионные вакансии (V_a^-) и под действием ионизирующего излучения происходит не только накопление F -центров, но и коагуляция их в F_2 -центры: $F + p^+ = V_a^+$, $V_a^+ + F = F_2^+$, $F_2^+ + e^- = F_2$, где p^+ — подвижная дырка (зонная или автолокализованная) ²⁾. При температурах ниже 250 К анионные вакансии малоподвижны и выход коагуляции падает в $10^2 \dots 10^3$ раз. Поэтому низкотемпературная диссоциация F_2 -центров необратима. Эксперимент выполняли в следующей последовательности. Пластинки кристалла КСІ облучали при температуре из интервала 290 \dots 360 К до накопления необходимой концентрации F_2 -центров. Затем выдерживали при той же температуре до полного распада F_2^+ -центров. После этого образец охлаждали до определенной температуры ниже 250 К и возобновляли облучение, в процессе которого наблюдали в чистом виде разрушение F_2 -центров, не искаженное накоплением. Таким способом можно уменьшить их концентрацию в 10^2 раз ⁵. На рис. 1 показано, как убывает с дозой (D) относительное число F_2 -центров (n/n_0) при облучении КСІ протонами. По вертикальной оси логарифмический масштаб, и видно, что зависимость состоит из двух экспоненциальных составляющих. Первая, короткая, насыщается. Она связана с обратимым низкотемпературным разрушением F_2 -центров: $F_2 + p^+ = F_2^+$, $F_2^+ + e^- = F_2$. Вторая не насыщается. Она связана с необратимой диссоциацией F_2 -центров. Мы сравнивали температурные зависимости относительного выхода диссоциации F_2 -центров $g(T)/g(250 \text{ К})$ для трех видов облучения кристал-

¹⁾ F_2 -центр состоит из двух F -центров, расположенных в смежных анионных узлах.

²⁾ В КСІ автолокализованные дырки совершают перескоковое движение с энергией активации 0,58 эВ.

лов KCl: 1) малоинтенсивными пучками электронов и рентгеновских лучей; 2) протонов с энергиями $1 \dots 10$ МэВ, 3) мощными электронными пучками сильноточного ускорителя с параметрами: $0,3$ МэВ, 5 нс, $1 \dots 10^3$ А/см². Сразу отметим, что во всех случаях нагрев образца пучком был $\Delta T < 10$ К. Результаты приведены на рис. 2. В первом случае энергия активации $0,072 \dots 0,075$ эВ соответствует диффузии междоузельных атомов Cl_M^0 , а во втором и третьем $0,04 \dots 0,044$ эВ — диффузии междоузельных ионов Cl_M^- . Впервые в работах ^{2,3} исследовали диссоциацию F_2 -центров под действием малоинтенсивных рентгеновских и электронных пучков и установили механизм низкотемпературной диссоциации при малых плотностях электронов и дырок: $e^- + p^+ = F + Cl_M^0$, $Cl_M^0 + F_2 = F$ и чистый результат — диссоциация F_2 на два F -центра. Как показывают приведенные данные наших экспериментов, механизм диссоциации F_2 -центров изменяется в треках протонов и при импульсном облучении мощным электронным пучком, когда создается высокая плотность электронов и дырок: $e^- + p^+ = F + Cl_M^0$, $e^- + Cl_M^0 = Cl_M^-$, $p^+ + F_2 = F_2^+$, $Cl_M^- + F_2^+ = F$ — т.е. междоузельный атом, захватив электрон, превращается в ион и в таком зарядовом состоянии пробегает большую часть пути от места рождения до F_2 -центра. Благодаря этому при высоких плотностях электронов и дырок скорость диффузии междоузельников и соответственно наблюдаемый относительный выход диссоциации F_2 -центров возрастают в $10 \dots 100$ раз в области низких температур (рис. 2).

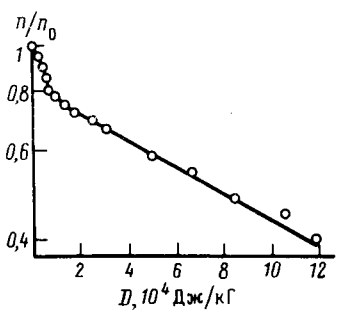


Рис. 1

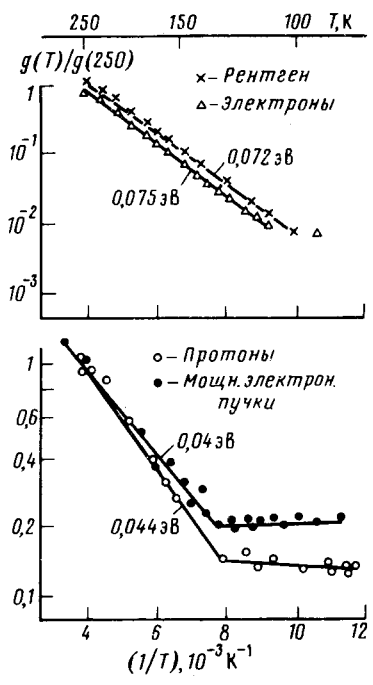


Рис. 2

Следует отметить, что при высоких плотностях электронов и дырок ниже 150 К становится заметным вклад температурно-независимых механизмов диссоциации (рис. 2), связанных с рекомбинацией дырок и электронов прямо на F_2 -центрах ⁶. И это обстоятельство не позволило нам наблюдать увеличение выхода диссоциации F_2 -центров более, чем в 10^2 раз.

Литература

1. Behr A. Phys. Lett., 1967, 24 A, 379; J. Phys. C, 1967, 28, 4; J. Angew. Phys., 1969, 26, 254.
2. Schnatterly S., Compton W.D. Phys. Rev., 1964, 135, 227.
3. Sonder E. Phys. Rev., 1972, B 5, 3259.
4. Луцук Ч.Б., Витол И.К., Эланго М.А. УФН, 1977, 122, 223.
5. Вайсбурд Д.И., Кравец А.Н., Меликян Л.А., Минаев С.М. ФТТ, 1970, 12, 2788.
6. Вайсбурд Д.И., Уметов Э.У., Рудаменко И.П. ФТТ, 1975, 17, 624.