

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.219.3

В. С. ЯХОТ

О МЕХАНИЗМЕ РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЙ ДИФФУЗИИ

Явления стимулирования диффузии радиацией привлекает внимание к себе уже несколько лет в связи с возможными технологическими применениями. В этом плане интересна работа О. Р. Ниязовой с сотрудниками, в которой наблюдалась диффузия золота в кремнии, стимулированная очень мягким рентгеном, который не производит дефектов смещения в материале. Измененный коэффициент стимулированной диффузии имел аномальную температурную зависимость, определяемую в широком интервале температур аррениусовским законом с отрицательной энергией активации:

$$D \sim \exp\left(\frac{Q}{kT}\right), \quad (1)$$

причем $Q > 0$.

Рассмотрению механизма, который объясняет сильный рост коэффициента диффузии при облучении, а также температурную зависимость (1), посвящена эта работа.

Рассмотрим примесь, находящуюся в междоузлии около узла \vec{n} . Пусть потенциальный барьер перескока атома в соседние междоузлия равен u , тогда вероятность перескока примеси за одну секунду пропорциональна

$$\omega \sim \exp\left(-\frac{u}{kT}\right). \quad (2)$$

Рассмотрим деформированную область вокруг примеси. В ней возможны локализованные экситоны, наличие которых наблюдалось экспериментально [1] и предсказывалось теоретически в работе Зинец и Сугакова [2]. Эти экситоны локализуются в области около примеси и могут перемещаться внутри нее.

Пусть на узле \vec{n} возник экситон. В результате уменьшится величина потенциального барьера перескока примеси на ΔE . Возможны несколько механизмов уменьшения барьера, например, изменение геометрии из-за локальной деформации, сопровождающей экситон, или нарушение обменной связи при возбуждении и др. Экситон может перепрыгнуть на другой узел, удаленный от примеси, и изменение потенциального барьера очень уменьшается из-за малого радиуса возбуждения. Таким образом, можно считать, что перескок произойдет только в том случае, когда экситон находится около примеси и создает благоприятные условия для диффузии.

Следовательно, вероятность перескока примеси за 1 сек определяется вероятно-

стью перескока при уменьшенном барьере за 1 сек, умноженной на долю секунды, в течение которой барьер уменьшен:

$$p \sim \exp\left(-\frac{u - \Delta E}{kT}\right) t_0 N. \quad (3)$$

Здесь t_0 — среднее время нахождения возбуждения на одном узле, N — число экситонов, которые за 1 сек могут оказаться около примеси.

Используя результаты, полученные для локализованных экситонов [3],

$$t_0 \sim T^{1/2} \exp\left(\frac{G}{kT}\right), \quad (4)$$

где N — пропорционально концентрации экситонов, для которой можно написать уравнение диффузии [4]. Решив (4) для узкого кристалла в пренебрежении неоднородностью генерации возбуждений и в стационарных условиях, получим

$$N \sim I_0 k(\nu) \tau, \quad (5)$$

где I_0 — интенсивность облучения, $k(\nu)$ — коэффициент экстинкции, τ — время жизни экситона.

Подставив (4) в (5), с учетом зависимости времени жизни локализованного экситона относительно излучения или захвата какими-то центрами от температуры $\tau \sim \exp \Delta/kT$, получим

$$p \sim T^{1/2} I_0 k(\nu) \exp\left(-\frac{u - \Delta E - G - \Delta}{kT}\right). \quad (6)$$

Мы не рассматривали процессов захвата возбуждения примесной молекулой, так как ему предшествует нахождение экситона на соседнем узле, рассмотренное выше. Если примесь захватывает экситон, то диффузия тем более идет, но это не есть необходимое условие для нее.

Из (6) видно, что для веществ, имеющих большой коэффициент диффузии (малое u), показатель экспоненты может быть больше нуля, что и получалось в эксперименте, где было замечено также сильное возрастание коэффициента диффузии при облучении (см. (1) и (6)).

Для численных оценок воспользуемся значениями $u=1,3$ эв из [5], $\Delta E=0,5$ эв из [6] (пренебрегая всеми механизмами уменьшения барьера, кроме нарушения потенциала), $G=0,3$ эв и $\Delta=0,65$ эв (из анализа спектров излучения для SiC в [1]). Подставив эти константы в (6), получим

$$p \sim T^{1/2} I_0 k(\nu) \exp\left(\frac{0,15}{kT}\right). \quad (7)$$

Изложенный механизм может быть применен для объяснения фотоотжига: увеличения подвижности вакансий за счет возбуждения, которое может приводить к интенсивной аннигиляции фронкелевских пар.

Автор благодарен В. Л. Бонч-Бруевичу и А. Е. Киву за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Недзвецкий Д. С. и др. ФТП, 2, вып. 7, 1968.
2. Зинец О. С., Сугаков В. И. ФТП, 1, вып. 6, 1967.
3. Greifai M. Czech. J. Phys., 6, 533, 1956.
4. Агранович В. М. Теория экситонов. М., «Наука», 1968.
5. Болтакс. Диффузия в полупроводниках.
6. Стародубцев С. В., Кив А. Е., Розенцвиг Г. Л. ДАН СССР, 172, 4, 1967.
7. Кив, Умарова. ФТП, 4, № 3, 1970.