

О ВЗРЫВНОМ ХАРАКТЕРЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ОБРАЗОВАНИИ БИЭКСИТОНОВ

Х.В.Неркарян

Обсуждается возможность наблюдения экспоненциального роста во времени коэффициента поглощения при резонансном образовании диссоциирующих экситонных молекул в прямозонных полупроводниках.

Возможности экспериментального исследования экситонной молекулы (биэкситона) в прямозонных полупроводниках базируются на оптических процессах. Это прежде всего связано с тем обстоятельством, что характерные для переходов в биэкситонное состояние гигантские силы осцилляторов делают легко доступными для наблюдения различные оптические процессы¹⁻³.

В настоящей работе будет показано, что в системе диссоциирующих экситонных молекул может наблюдаться взрывное (лавинообразное) усиление поглощения. Этот нестационарный процесс характеризуется экспоненциальным ростом во времени коэффициента поглощения⁴.

В рассматриваемом случае процесс взрывного поглощения света можно описать следующим образом. Пусть на кристалл падает электромагнитная волна, частота которой резонансна для перехода из экситонного состояния в биэкситонное. Тогда в результате поглощения фотона экситон может превратиться в биэкситон. Далее из-за диссоциативных процессов произойдет распад экситонной молекулы на два экситона. Световая волна вновь превратит эти экситоны в биэкситоны и т.д. Указанный цикл будет неоднократно повторяться и приведет к экспоненциальному росту во времени концентраций как экситонов, так и биэкситонов. Это может иметь место в условиях сильного поглощения энергии волны.

В рамках применимости уравнений для скоростей изменения концентраций экситонов и биэкситонов, для поглощенной мощности при заданной интенсивности волны можно получить:

$$\Delta P = \Delta P_0 e^{st}, \quad (1)$$

где

$$s = -w - \frac{1}{2} (\Gamma + \gamma_0 + \gamma_1) + \sqrt{\left[w + \frac{1}{2} (\Gamma + \gamma_0 + \gamma_1) \right]^2 + (\Gamma - \gamma_0) w - (\Gamma + \gamma_1) \gamma_0}. \quad (2)$$

Здесь ΔP_0 – константа, зависящая от начальной концентрации экситонов в полупроводнике, w – вероятность индуцированного перехода в единицу времени между экситонным и биэкситонным состояниями, Γ^{-1} – время диссоциации экситонной молекулы, γ_0^{-1} – время жизни свободного экситона, γ_1^{-1} – радиационное время жизни экситона в двухэкситонном комплексе (обычно $\gamma_1 \gg \gamma_0^{-1}$). В (1) мы пренебрегли быстро убывающим во времени членом.

Из (2) следует, что процесс взрывного поглощения имеет пороговый характер, то есть может наблюдаться лишь начиная с определенной интенсивности падающего излучения, когда

$$w > \frac{(\Gamma + \gamma_1) \gamma_0}{\Gamma - \gamma_0}. \quad (3)$$

Подтверждением лавинообразности поглощения может служить несимметричное изменение формы прошедшего через полупроводник светового импульса, длительность которого (τ) достаточно велика:

$$\tau \gg [2w + \Gamma + \gamma_0 + \gamma_1]^{-1}. \quad (4)$$

Одна из привлекательных особенностей рассматриваемой ситуации заключается в том, что здесь имеются два легко варьируемых параметра. Кроме параметра w , значение которого пропорционально интенсивности падающего излучения, таким свойством обладает также параметр Γ . Поскольку энергия связи биэкситона, как правило, значительно меньше энергии связи экситона, то соответствующим выбором теплового режима можно заметно увеличить значение Γ , оставляя при этом неизменными γ_0 и γ_1 .

Диссоциация экситонной молекулы может быть обусловлена поглощением оптического LO -фонона. В частности в CuCl , где энергия связи биэкситона (28 мэВ) близка к энергии LO -фонона (26 мэВ), указанный механизм диссоциации может сыграть определяющую роль. Кроме того экситонная молекула может быть разрушена свободными носителями⁵. Этот процесс очень чувствителен к воздействию внешнего электростатического поля, что является дополнительным средством управления значением Γ .

При выводе (1) предполагалось, что в процессе поглощения с равной вероятностью участвуют практически все экситоны. Это предположение нуждается в обосновании, поскольку резонансная частота перехода из экситонного в биэкситонное состояние существенно зависит от импульса экситона K ¹. Если пренебречь импульсом фотона, что допустимо в рассматриваемом случае, то с ростом K частота перехода уменьшается на $K^2/4m$, где m — масса экситона. Поэтому спектральная полоса биэкситонного поглощения имеет достаточно большую ширину. Заметим, что поскольку смещение происходит лишь в сторону длинных волн, то ни при каких обстоятельствах экситонная и биэкситонная полосы поглощения не перекрываются.

Реализация взрывного поглощения возможна лишь в случае, когда спектральная ширина падающей волны допускает участие в процессе значительной части экситонов. В CuCl необходимая спектральная ширина волны должна составлять примерно 3,5 нм. Наиболее удобными источниками излучения для исследования переходов в биэкситонное состояние являются перестраиваемые лазеры на красителях, в которых обеспечение необходимого для нас режима не связано с принципиальными трудностями⁶.

Понятно, что экспоненциальный рост поглощенной мощности не будет непрерывно продолжаться. При достаточно больших концентрациях квазичастиц проявятся различные явления, обусловленные взаимодействием между ними. Это приведет как к существенному сдвигу резонансного уровня, так и к изменению значений релаксационных параметров. В результате нарушится условие (3).

Автор благодарен А.Л.Гюламиряну за обсуждения.

Литература

1. Рашба Э.И. ФТП, 1974, 8, 1241.
2. Грюн Дж.Б., Хенерлаге Б., Леви Р. В кн. "Экситоны" (под ред. Рашба Э.И., Стерджа М.Д.), 1985, М.: Наука.
3. Кулаковский В.Д., Лысенко В.Г., Тимофеев В.Б. УФН, 1985, 147, 3.
4. Ораевский А.Н., Покровский И.Е. КЭ, 1985, 12, 2290.
5. Кулаковский В.Д., Кукушкин И.В., Тимофеев В.Б. ЖЭТФ, 1980, 78, 381.
6. Лазеры на красителях (под ред. Шефера Ф.П.), 1976, М.: Мир.