

ОПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ НА ЭКСИТОНАХ В НЕОХЛАЖДАЕМОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ

А.М.Бакиев, В.С.Днепровский, З.Д.Ковалюк, В.А.Стадник

Обнаружена оптическая резонансная нелинейность на экситонах в полупроводниках, находящихся при комнатной температуре. При этом зарегистрировано бистабильное поведение эталонов Фабри – Перо из слоистых монокристаллов GaSe в случае резонансного возбуждения экситонов мощными импульсами света.

В последнее время большой интерес вызывают полупроводниковые оптические бистабильные элементы. Оптическая бистабильность возникает в Фабри – Перо резонаторах, заполненных нелинейной средой, под действием мощного светового потока, меняющего коэффициент преломления вещества и, следовательно, длину оптического пути резонатора. При этом пропускание резонатора становится нелинейным, и возникают области дифференциального усиления, насыщения, гистерезис ¹⁻³. Преимущества применения полупроводников связаны с большими значениями нелинейности в этих средах. Нелинейности особенно велики в случае резонансного возбуждения экситонов. В данной работе обнаружена резонансная нелинейность на экситонах в неохлажденных полупроводниках GaSe, приготовленных в виде Фабри – Перо резонаторов. До настоящего времени оптическая бистабильность при комнатной температуре зарегистрирована лишь в сложных эталонах GaAs – GaAlAs, выполненных в виде сверхрешеток ⁴.

Выбор кристаллов GaSe для получения оптических бистабильных элементов, работающих при комнатной температуре, был связан как с сильной нелинейностью в окрестности

резонансной экситонной линии, так и с большим значением энергии связи экситона (E_{ex}) в этом веществе ($E_{ex} = 20 \text{ мэВ}$, $E_{ex} \sim kT$ при $T = 300 \text{ К}$). Кроме того, следует отметить простоту получения резонаторов подходящего размера выкалыванием из слитка слоистого кристалла GaSe и то обстоятельство, что положение экситонного уровня находится в области диапазона частот генерации широко распространенных лазеров на красителях.

В эксперименте использовались резонаторы, выколотые из слитков гексагональных кристаллов ϵ -GaSe, выращенных методом Бриджмена. Измерения проводились при комнатной температуре образцов. Они облучались импульсами лазера ЛЖИ-402, активной средой которого был раствор красителя родамин-В (область перестройки длины волны излучения 610–635 нм, ширина линии излучения около 12 \AA , длительность импульса генерации 120 нс). Зеркала резонатора образованы естественными плоскопараллельными гранями образцов (коэффициент отражения в области прозрачности при нормальном падении – 22%). Направление оптической оси кристаллов, оси резонатора (нормали к плоскости слоя) и луча лазера совпадали. В этом случае луч лазера поляризован перпендикулярно оптической оси, и экситонный переход частично разрешен за счет спин-орбитального взаимодействия – коэффициент экситонного поглощения $\sim 10^3 \text{ см}^{-1}$. Последнее обстоятельство позволяет работать с резонаторами подходящей длины $\sim 10 \text{ мкм}$, в которых время установления поля мало $\sim 10^{-13} \text{ с}$. Падающее и прошедшее через образец излучение регистрировалось с помощью коаксиальных фотоэлементов, согласованных с двухлучевым осциллографом. Оба канала регистрации были идентичными.

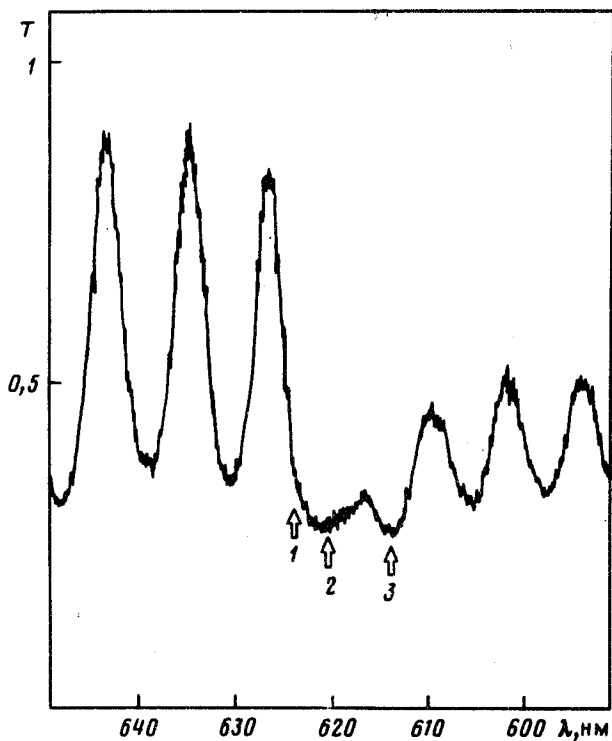


Рис.1. Спектр пропускания кристалла GaSe толщиной 8 мкм при комнатной температуре

На рис.2 приведены осциллограммы импульсов лазера, падающего и прошедшего через резонатор из кристалла GaSe толщиной 8 мкм в случае, когда длина волны излучения попадает в область прозрачности, экситонного и межзонного поглощения (спектр пропускания образца изображен на рис.1). Результаты обработки осциллограмм представлены на рис.3. Отметим, что при перестройке длины волны лазерного излучения в условиях сохранения его интенсивности меняется характер пропускания: 1) нелинейное пропускание возникает только

в случае резонансного экситонного перехода; 2) кривая нелинейного пропускания имеет гистерезис, область дифференциального усиления (интенсивность излучения на выходе меняется сильнее, чем на входе в образец); 3) поглощение линейно в случае отстройки частоты лазера от линии экситонного резонанса (область прозрачности и межзонных переходов). Интенсивность излучения, при которой происходит переключение бистабильного элемента, работающего при комнатной температуре (рис.3), близка к значениям, полученным для охлажденных до азотной температуры эталонов GaSe.

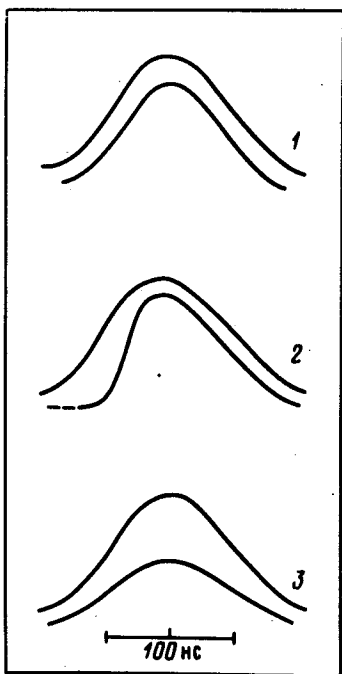


Рис. 2

Рис.2. Осциллограммы импульсов лазера, падающих и прошедших через эталон; длина волны излучения лазера: 1 – 624 нм, 2 – 620,7 нм, 3 – 614 нм (указана стрелками на рис.1)

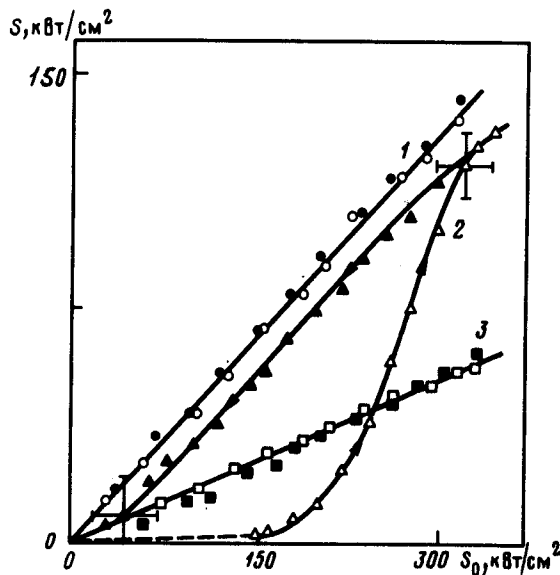


Рис. 3

Рис.3. Зависимость интенсивности излучения, прошедшего через эталон, от интенсивности падающего излучения

Тепловые эффекты, по-видимому, не являются определяющими в наблюдаемом явлении бистабильности, так как бистабильное поведение отсутствует в случае, когда длина волны излучения лазера перестроена в область сильного поглощения, связанного с межзонными переходами (прямая 3 на рис. 3). Дополнительные эксперименты позволят определить механизм наблюдаемой оптической бистабильности в кристаллах GaSe при комнатной температуре. Бистабильное поведение резонаторов может быть связано с многими эффектами: экранированием экситонов ^{6, 7}, сдвигом экситонного уровня при сильном возбуждении ⁸, неравновесным рассеянием на фононах ⁹ и т.д. Безынерционность перечисленных явлений, малое время установления поля внутри тонких полупроводниковых резонаторов и возможность уменьшения времени восстановления экситонного поглощения после возбуждения (например, за счет внедрения примесей в кристалл) позволяют надеяться на получение оптических бистабильных элементов, имеющих пикосекундные времена переключения при комнатной температуре.

В заключение отметим перспективность использования квазидвумерных систем, в которых возрастает энергия связи экситона, для получения оптических бистабильных элементов. Уве-

личение энергии связи экситонов приводит к ослаблению процесса их термической ионизации и к уменьшению относительного вклада поглощения, связанного с межзонными переходами, на частоте резонансного возбуждения. Применение для этой цели интеркалированных слоистых полупроводников ¹⁰ может представлять значительный интерес.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.В.Келдышу за поддержку и обсуждение настоящей работы.

Литература

1. *Smith S.D., Miller D.A.* Proc. 15-th Int. Conf. Physics of Semicond. Kyoto, 1980, J. Phys. Soc. Japan, 1980, 49, 597.
2. *Miller D.A., Smith S.D., Seaton C.T.* IEEE Journal of Quantum Electronics, 1981, QE-17, 312.
3. *Abraham E., Smith S.D.* Rep. Prog. Phys., 1982, 45, 815.
4. *Gibbs H.M., Tarnag S.S., Jewell J.L., Weinberger D.A., Tai K., Gossard A.C., McCall S.L., Passner A., Wiegmann W.* Appl. Phys. Lett., 1982, 41, 221.
5. *Toullec R.Le., Piccioli N., Chervin J.C.* Phys. Rev. B, 1980, 22, 6162.
6. *Staehly J.L., Froya A.* Physica, 1980, 99B, 299.
7. *Gibbs H.M., Gossard A.C., McCall S.L., Passner A., Wiegmann W.* Solid State Comm., 1979, 30, 271.
8. *Келдыш Л.В., Козлов А.Нр* ЖЭТФ, 1968, 54, 978.
9. *Иванов А.Л., Келдыш Л.В.* ЖЭТФ, 1982, 84, 404.
10. *Григорчак И.И., Ковалюк З.Д., Юрценюк С.П.* Известия АН СССР, сер. Неорганические материалы, 1981, 17, 412.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
24 июня 1983 г.
После переработки
20 октября 1983 г.