

В. С. Днепровский. Оптическая бистабильность в полупроводниках. Явление оптической бистабильности (ОБ) определяется совокупностью статических и динамических процессов в нелинейных системах с обратной связью (ОС). ОБ система может иметь два устойчивых состояния для выходного сигнала при одном значении входного¹. ОБ представляет интерес как с практической точки зрения для создания безынерционных оптических транзисторов, переключателей, элементов памяти и других оптоэлектронных устройств², так и для изучения нелинейных оптических процессов, определяющих бистабильное поведение систем: ОС позволяет зарегистрировать нелинейный процесс при относительно малых уровнях возбуждения. Наиболее перспективным материалом для ОБ устройств можно считать полупроводники, имеющие большие значения нелинейных восприимчивостей.

Обычно ОБ элемент представляет собой резонатор Фабри — Перо, заполненный нелинейной средой. Под действием светового потока изменяется коэффициент преломления вещества и соответственно длина оптического пути резонатора. Пропускание резонатора становится нелинейным (рис. 1) — возникают области дифференциального усиления, ограничения, гистерезис³.

Рассмотрим только собственную *) ОБ в пассивных полупроводниковых системах, в которых нелинейность усилена резонансными процессами. За счет кулоновского взаимодействия между электронами и дырками в полупроводнике возникают одно- и двухфотонные резонансы, связанные с образованием экситонов и экситонных молекул.

1. ОБ при экситонном резонансе обнаружена в резонаторах Фабри — Перо из GaAs⁴ и GaSe^{3,5} в случае, когда длина волны возбуждающего излучения отстроена от пика линии экситонного поглощения $\lambda > \lambda_{ex}$; $\lambda - \lambda_{ex} \approx \Delta\lambda$, где $\Delta\lambda$ — полуширина линии. При этом происходит «насыщение» экситонного перехода, связанное с процессами неупругого экситон-экситонного и экситон-электронного рассеяния, с экранированием экситонов, с переходом Мотта^{1,6}. Меняется поляризуемость, связанная с экситонным резонансом. С ростом уровня возбуждения в области $\lambda > \lambda_{ex}$ уменьшается коэффициент преломления. Значительная нелинейность, связанная с экситонным переходом, и бистабильное поведение эталонов, работающих при комнатной (!) температуре, зарегистрированы в сверхрешетке в системе

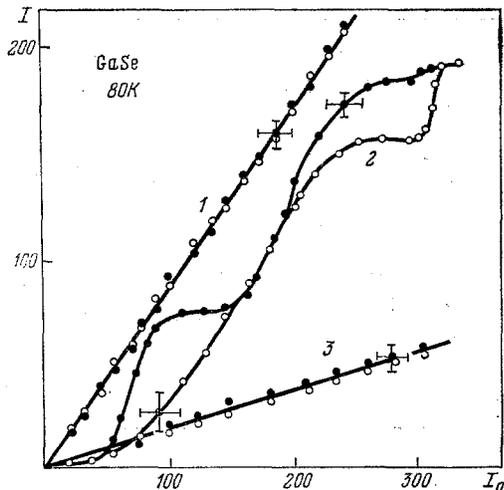


Рис. 1. Дисперсия зависимости интенсивности излучения на выходе из резонатора GaSe (12 мкм) от интенсивности излучения, падающего на кристалл³.

1 — область прозрачности, 2 — экситонного резонанса, 3 — межзонных переходов

*) ОС создается за счет зеркал резонатора или самого нелинейного процесса, а не с помощью внешнего электронного устройства. Последний способ называется гибридным.

GaAs — GaAlAs⁷ и в GaSe⁵, имеющем большое (20 мэВ) значение энергии связи экситона.

2. При взаимодействии полупроводников с мощным излучением с энергией фотона $\hbar\omega_m/2$ ($\hbar\omega_m$ — энергия биэкситона) эффективно создаются биэкситоны, так как в процессе двухфотонного возбуждения экситонных молекул участвует почти резонансный экситонный переход⁸. Нелинейный рост коэффициента поглощения и, соответственно, коэффициента преломления на частоте $\omega_m/2$ при достаточно больших концентрациях поляритонов позволил получить бистабильный режим в высокодобротных эталонах из CuCl^{9,10}.

3. В работе¹¹ указано на возможность возникновения оптического гистерезиса, обусловленного зависимостью глубины локальных примесных уровней от концентрации свободных носителей. Положительная ОС возникает за счет уменьшения радиуса экранирования при ионизации примесных центров. Недавно в CdS обнаружена¹² ОБ на экситонах, связанных на нейтральных донорах, при малом (~ 1 мВт) уровне возбуждения.

4. Режим безрезонаторной абсорбционной ОБ вблизи сильно выраженного экситонного резонанса ($\lambda > \lambda_{ex}$), связанный с увеличивающимся при росте уровня возбуждения нелинейным поглощением ($\alpha(n)$), осуществлен в^{13,14}. Собственная ОС возникла при доминировании процесса генерации частиц над рекомбинацией¹⁵. Немонотонный рост α с ростом концентрации частиц n может быть связан¹⁵ с переходом Мотта, с увеличением затухания в области крыла линии экситонного поглощения, с образованием экситонных молекул и с перенормировкой ширины запрещенной зоны¹⁴ при двухфотонном возбуждении плазмы.

5. ОБ при межзонных переходах обнаружена в Фабри — Перо резонаторах из InSb¹⁶, Te¹⁷, InAs¹⁸, GaSe¹⁹. В узкозонных

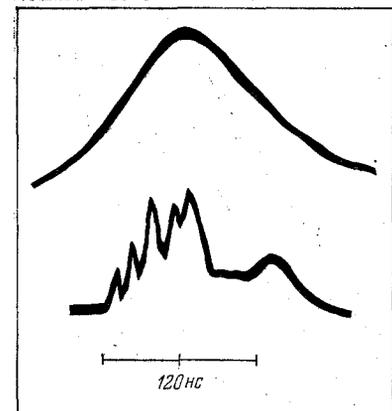


Рис. 2. Осциллограммы падающего и отраженного от резонатора из GaSe (300 K) импульсов света ($I \approx 600$ кВт/см²).

Одно из зеркал резонатора толщиной 8 км имеет коэффициент отражения 100%, другое — естественная грань скола. Получено А. М. Бакиевым, Г. С. Волковым, В. С. Днепровским, З. Д. Ковалюком

полупроводниках такой способ возбуждения, по-видимому, наиболее перспективен, так как нелинейная восприимчивость резко увеличивается с уменьшением ширины запрещенной зоны. ОБ при межзонных переходах возникает и в неохлаждаемых образцах^{17,19,20}. Нелинейные свойства полупроводников определяются процессами насыщения, сдвигом Бурштейна — Мосса, поглощения плазмой свободных носителей¹. Новый тип оптического гистерезиса с общей точкой пересечения устойчивых состояний зарегистрирован в эталонах из GaSe при межзональном поглощении излучения лазера, работающего в непрерывном режиме¹⁹.

6. Влияние светового поля на анизотропию показателя преломления вблизи экситонного резонанса резонатора из CdS и оптический гистерезис зарегистрированы в²¹.

В бистабильном элементе могут одновременно проявляться несколько нелинейных процессов. Если в системе существуют нелинейности обоих знаков, отличающиеся либо разными временными константами, либо разной зависимостью от интенсивности света, то в ней могут возникнуть осцилляции^{11,22}. В работах^{7,22} обнаружены осцилляции в GaAs и GaAs — GaAlAs при конкуренции двух процессов: «насыщения» экситонов и теплового. Режим наносекундных пульсаций (рис. 2) получен при отражении импульса света от эталона из GaSe (300 K).

В последнее время зарегистрирована ОБ на экситонах при малых уровнях возбуждения в неохлаждаемых Фабри — Перо резонаторах из GaAs — GaAlAs²³ (возбуждение полупроводниковым лазером) и GaSe²⁴ (непрерывным лазером), что открывает реальные перспективы использования полупроводниковых ОБ элементов в оптоэлектронике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрахам Е., Smith S. D.— Rept. Progr. Phys., 1982, v. 45, p. 815.
2. Эйбрэхэм А., Ситон К. Т., Смит С. Д.— В мире науки, 1983, № 4, с. 16.
3. Бакиев А. М., Днепровский В. С., Ковалюк З. Д., Стадник В. А.— ДАН СССР, 1983, т. 271, с. 641.
4. Gibbs H. M., McCall S. L., Venkatesan T. N. C., Gossard A. C., Passner A., Wiegmann W.— Appl. Phys. Lett., 1979, v. 35, p. 451.
5. Бакиев А. М., Днепровский В. С., Ковалюк З. Д., Стадник В. А.— Письма ЖЭТФ, 1983, т. 38, с. 493.
6. Stein-Ross M. L., Gardnier C. W.— Phys. Rev. Ser. A, 1983, v. 27, p. 310.
7. Gibbs H. M., Tarng S. S., Jewell J. L., Weinberger D. A., Gossard A. C., McCall S. L., Passner A., Wiegmann W.— Appl. Phys. Lett., 1982, v. 41, p. 221.
8. Koch S. W., Haug H.— Phys. Rev. Lett., 1981, v. 46, p. 450.
9. Levy R., Bigot J. Y., Hönerlage B., Tomasini F., Grun J. B.— Sol. State Comm., 1983, v. 48, p. 705.
10. Reughambarian N., Gibbs H. M., Rushford M. C., Weinberger D. A.— Phys. Rev. Lett., 1983, v. 51, p. 1692.
11. Dneprovskaya T. S.— Phys. Stat. Sol. Ser. b, 1972, v. 52, p. 39.
12. Dagenais M., Winful H. G.— Appl. Phys. Lett., 1984, v. 44, p. 574.
13. Rossmann H., Henneberger F., Voigt J.— Phys. Stat. Sol. Ser. b, 1983, v. 115, p. K63.
14. Bohern K., Kalt H., Klingshirn C.— Appl. Phys. Lett., 1983, v. 43, p. 1088.
15. Henneberger F., Rossmann H.— Phys. Stat. Sol. Ser. b, 1984, v. 121, p. 685.
16. Miller D. A. et. al.— Appl. Phys. Lett., 1979, v. 35, p. 658.
Seaton C. T., Smith S. D., Tooley F. A. P., Prise M. E., Taghizadeh M. R.— Ibid., 1983, v. 42, p. 131.
Tooley F. A. P., Smith S. C., Seaton C. T.— Ibid., 1983, v. 43, p. 807.
17. Staupendahl G., Schindler K.— Opt. and Quantum Electron., 1982, v. 14, p. 157.
18. Poole C. D., Garmire E.— Appl. Phys. Lett., 1984, v. 44, p. 363.
19. Голубев Г. П., Днепровский В. С., Ковалюк З. Д., Стадник В. А.— Письма ЖЭТФ, 1984, т. 10, с. 341.
20. Kar A. K., Mathew J. G. H., Smith S. D., Davis B., Prettl W.— Appl. Phys. Lett., 1983, v. 42, p. 334.
21. Видмонт Н. А., Максимов А. А., Тартаковский И. И., Эдельштейн В. М.— Письма ЖЭТФ, 1983, т. 9, с. 1527.
22. Jewell J. L., Gibbs H. M., Tarng S. S., Gossard A. C., Wiegmann W.— Appl. Phys. Lett., 1982, v. 40, p. 291.
23. Tarng S. S., Gibbs H. M., Jewell J. L., Reughambarian N., Gossard A. C., Venkatesan T., Wiegmann W.— Ibid., 1984, v. 44, p. 360.
24. Голубев Г. П., Днепровский В. С., Кисилев Е. А., Ковалюк З. Д., Стадник В. А.— ДАН СССР, 1984.