

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ДОМЕНОВ (АВТОВОЛН) ПОГЛОЩЕНИЯ В СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ

В.А.Стадник

*Институт физики твердого тела АН СССР
142432, Черноголовка*

Поступила в редакцию 1 марта 1991 г.

После переработки 16 апреля 1991 г.

Установлено, что домены поглощения в сульфиде кадмия являются волнами релаксации с конечным состоянием в области урбаховского хвоста поглощения и по структуре аналогичны волнам горения, изученным в кинетике химических реакций. Обнаружен голубой сдвиг линии люминесценции бегущих доменов при увеличении мощности света.

Явление доменной неустойчивости в полупроводниках под действием света состоит в образовании внутри светового канала областей с различными значениями физических параметров, таких как концентрация фотовозбужденных носителей, температура, коэффициент поглощения и т.п. До настоящего времени экспериментально изучались лишь динамические свойства доменов поглощения в ряде полупроводниковых соединений A_2B_6 и A_3B_6 ¹. Вместе с тем для более глубокого понимания природы этого явления необходимы данные о структуре доменов поглощения. Основными параметрами, подлежащими определению для доменов тепловой природы, являются максимальная температура домена или температура в зоне максимальной эффективности преобразования падающего светового потока в тепловой, а также соответствующие значения коэффициента поглощения². В настоящей работе для этой цели была применена методика, основанная на регистрации спектров люминесценции доменов поглощения с пространственным разрешением 5 - 10 мкм и спектральным разрешением около 1 мэВ. Измерение спектров люминесценции и динамического поведения доменов поглощения осуществлялось с помощью автоматизированной на базе компьютера IBM PC-AT 286 установки, в состав которой входили оптический многоканальный анализатор, спектральный прибор МДР-12 и осциллограф РМ-3315.

Эксперименты проводились при комнатной температуре на образцах сульфида кадмия толщиной 1,3 - 2,0 мм в геометрии, когда падающий луч света направлен вдоль оптической оси кристалла. Для возбуждения доменов использовалось излучение второй гармоники (энергия фотона 2,33 эВ) квазинепрерывного Nd : YAG-лазера ("Арго-1" центр НТТМ "Физтех"), который обеспечивал как режим непрерывной генерации, так и режим модуляции добротности с перестройкой длительности импульса от 0,2 до 25 мкс при средней мощности излучения 500 - 600 мВт. Методика возбуждения доменов описана в работе¹.

Люминесценция в исходном квазиоднородном (без доменов) состоянии температурного поля кристалла имеет антистоксовый характер: максимум линии расположен в коротковолновой стороне спектра по отношению к линии возбуждения (см. рис. а). Увеличение мощности непрерывного возбуждения приводит к плавному смещению линии люминесценции в низкоэнергетическую сторону спектра. При превышении некоторой критической мощности падающего света происходит образование доменов поглощения вблизи либо

передней, либо задней грани, что сопровождается скачкообразным изменением положения линии люминесценции.

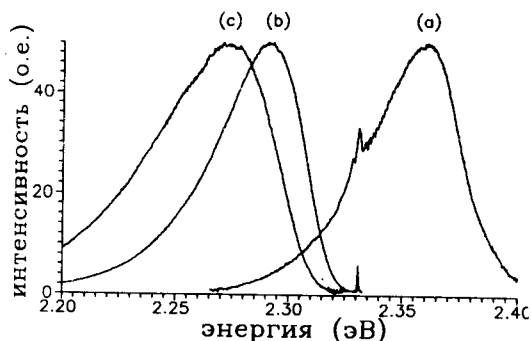


Рис. 1. *a* - Спектр люминесценции сульфида кадмия в исходном (без доменов) состоянии кристалла, мощность падающего излучения $P_0 = 30$ мВт. *б, в* - Спектры люминесценции доменов поглощения, локализованных на передней грани, при изменении мощности света: *б* - $P_0 = 445$ мВт, *в* - $P_0 = 505$ мВт

Поведение спектров люминесценции доменов поглощения, локализованных на передней грани образца, характеризуется тем, что при увеличении мощности падающего света линии люминесценции (рис. 1*б* и 1*в*) испытывает сдвиг в низкоэнергетическую сторону подобно тому, как это имеет место для спектров в квазиоднородном состоянии кристалла.

Домены поглощения, образующиеся на задней грани образца, как было показано ранее ¹, могут быть не только локализованными, но и бегущими. Домены этого вида демонстрируют принципиально иное поведение спектров люминесценции, основные черты которого заключаются в следующем. Линия люминесценции (рис. 2) имеет практически постоянную форму. Положение линии слабо зависит от условий возбуждения и области домена, из которой регистрируется сигнал люминесценции, ее максимум находится вблизи линии возбуждающего излучения. Полуширина линии в среднем на 30 - 50% больше, чем для линии домена, локализованного на передней грани, при том же спектральном положении.

Самое низкоэнергетическое положение линии регистрируется для локализованного домена при максимальном значении интенсивности света, когда домен еще сохраняет свою устойчивость. Однако как только возникают слабые пульсации локализованного домена ¹, линия испытывает обратное смещение в голубую сторону на несколько мэВ.

Для того, чтобы получить заметное изменение спектра люминесценции бегущего домена, в эксперименте требовалось значительное увеличение мощности падающего света. Так, при увеличении мощности в четыре раза (см. рис. 2) линия смещается на 6 - 8 мэВ. Однако это смещение происходит не в низкоэнергетическую сторону спектра, а в высокоэнергетическую (!). Отметим, что при этом возрастает скорость движения домена.

При невысокой плотности фотовозбужденных носителей (в эксперименте не более 10^{16} см^{-3}) температура домена может быть определена по спектральному положению линии люминесценции, которое отслеживает температурное смещение края собственного поглощения. Для доменов, локализованных на передней

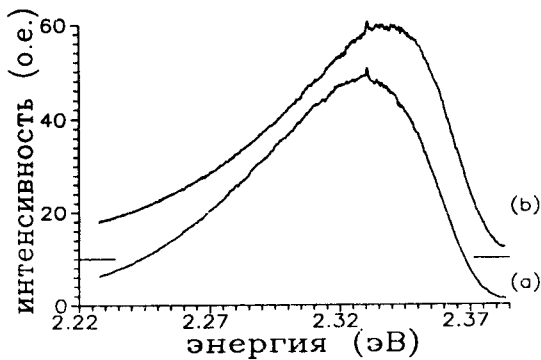


Рис. 2. Спектры люминесценции бегущих в объеме образца доменов поглощения при разной мощности падающего света: *a* - $P_0 = 540$ мВт, средняя скорость домена $v \approx 0,7 \cdot 10^8$ см/с; *b* - $P_0 = 2,4$ Вт, $v \approx 2,6 \cdot 10^8$ см/с

границы, этот метод дает максимальную температуру домена, которая оказывается в пределах 380 - 420 К. Для доменов, образующихся на задней границе как локализованных, так и бегущих, по люминесценции определяется температура в активной зоне преобразования энергии светового потока в тепловой, ее значения находятся в диапазоне 330 - 370 К. Оценка максимальной температуры доменов этого вида дает значение не более 390 - 400 К. Соответствующие этим температурам максимальные значения коэффициента поглощения составляют $1 \div 3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$ для доменов на передней границе и $3 \div 10 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$ для бегущих доменов и локализованных на задней границе.

Отметим, что эти значения по крайней мере на порядок меньше, чем предсказываемые развитой ранее моделью чисто теплопроводностного режима движения домена ^{1,3}, в соответствии с которой максимальный коэффициент поглощения должен находиться в области межзонных переходов и составлять не менее 10^4 см^{-1} , а температура домена должна достигать 480 - 500 К. Экспериментально найденные значения оказываются как раз в той области урбаховского хвоста поглощения ^{4,5} которая ранее считалась неустойчивой и исключалась из рассмотрения ^{1,3}.

Учет правила Урбаха и линейного температурного изменения ширины запрещенной зоны полупроводника ^{4,5} приводит в интересующей нас области к резкой экспоненциальной зависимости коэффициента поглощения и функции тепловыделения от температуры: $\alpha_0 \exp(T/\Delta T)$. В силу этого задача о поведении домена поглощения в полупроводниках во внешнем световом поле оказывается аналогичной задаче о кинетике химических реакций горения ⁶, где соответствующий множитель в тепловыделении имеет вид $\exp(-\epsilon/T)$. При этом домен поглощения имеет структуру волны релаксации ⁶, а не волны переключения, как это предполагалось ранее ^{1,3}.

Сдвиг линии люминесценции доменов, образующихся на передней границе (рис. 1), со средним коэффициентом смещения энергетического положения линии от мощности света $\beta = -3 \div 4 \cdot 10^2$ мэВ/Вт объясняется увеличением максимальной температуры домена и соответствующим локальным уменьшением ширины запрещенной зоны. Слабая зависимость параметров линии люминесценции от мощности падающего света для доменов, возникающих на задней границе образца (рис. 2), ($\beta \approx 3$ мэВ/Вт) указывает на то, что основная доля приращения этой мощности расходуется не на увеличение температуры

домена. а на увеличение скорости его движения. Неожиданным результатом можно считать обратный по отношению к предыдущему случаю (доменов на передней грани) ход зависимости положения линии от мощности света.

Голубой сдвиг линии люминесценции бегущих доменов поглощения (рис. 2), по-видимому, не может быть объяснен процессами, происходящими в электронной подсистеме, поскольку в условиях эксперимента электронно-дырочная плазма является невырожденной, и процессы усиления не могут оказать влияния на форму линии люминесценции. Главной причиной этой особенности поведения люминесценции, на наш взгляд, является уменьшение максимальной температуры бегущего домена. Отметим, что этот результат не находит объяснения в рамках современных моделей ^{2,3,6} волн поглощения, образующихся под действием света.

В заключение автор выражает благодарность Тимофееву В.Б. за поддержку настоящей работы, Кулаковскому В.Д. и Лебедеву М.В. за полезное обсуждение результатов.

Литература

1. Стадник В.А. ФТТ, 1987, 29, 3594; ФТТ, 1988, 30, 3571.
 2. Райзер Ю.П. УФН, 1980, 132, 549.
 3. Есипов С.Э. ЖЭТФ, 1988, 94, 118; ЖЭТФ, 1990, 97, 1031.
 4. Spiegelberg F., Gutsche E., Voight J. Phys. Stat. Sol. (b), 1976, 77, 233.
 5. Кусмарцев Ф.В., Мешков С.В. ЖЭТФ, 1988, 94, 250.
 6. Мержанов А.Г., Руманов Э.Н. УФН, 1987, 151, 553.
-