

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

05;07

Журнал технической физики, т. 66, в. 8, 1996

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТОК И ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ИЗЛУЧАТЕЛЬНУЮ РЕКОМБИНАЦИЮ СВОБОДНЫХ ЭКСИТОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ CdS**

© В. Т. Мак

Одесский государственный университет им. М.И.Мечникова,  
270100 Одесса, Украина  
(Поступило в Редакцию 24 апреля 1995 г.  
В окончательной редакции 28 ноября 1995 г.)

Известно, что интенсивность фотолюминесценции экситонов в полупроводниках существенно зависит от дефектности материала. При этом интенсивность излучения связанных экситонов определяется в первую очередь концентрацией точечных дефектов, с которыми ассоциированы данные экситоны, а интенсивность излучения свободных экситонов зависит от их времени жизни, которое напрямую связано с наличием дефектов структуры. Кроме того, на интенсивность излучения свободных экситонов может оказывать влияние самопоглощение их излучения тонким обедненным на экситоны приповерхностным слоем [1]. Установлению природы дефектов, оказывающих определяющее влияние на интенсивность фотолюминесценции свободных экситонов в монокристаллах сульфида кадмия, посвящена настоящая работа. Для решения поставленной задачи в работе исследуется влияние термообработок и облучения электронами 1 МэВ на интенсивность фотолюминесценции свободных А-экситонов в монокристаллах CdS.

Исследуемые в работе монокристаллы выращивались методом зонной сублимации под давлением  $1.8 \times 10^7$  Па в атмосфере инертного газа из очищенного порошка CdS. Их фотоэлектрические и оптические характеристики были такими же, как у исследованных в работе [2] монокристаллов. Отжиг монокристаллов производился в воздухе при давлении  $1 \times 10^5$  Па и в вакууме при давлении не выше  $1 \times 10^{-3}$  Па. Изменения фотоэлектрических и электрофизических свойств этих кристаллов при отжигах описаны в [2].

В исходном состоянии монокристаллы имели интенсивную полосу зеленого свечения с максимумом при 2.46 эВ (рис. 1, 2, кривые 1), которая, согласно [3-6], связана с рекомбинационным излучением свободного экситона. При 77 К отчетливо регистрировалось излучение

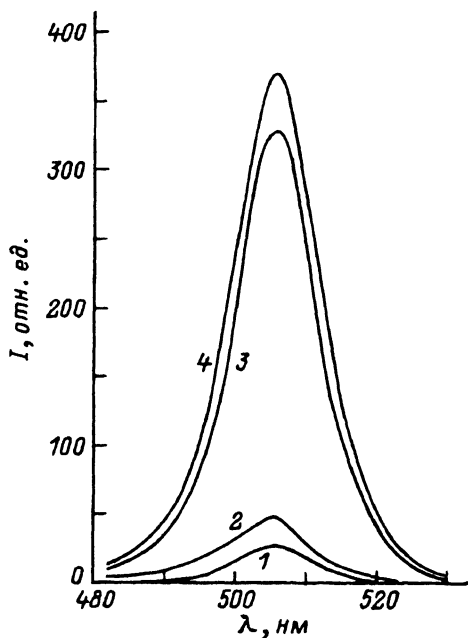


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции неотожженного (1) и отожженного при 673 К в течение 5 (2), 15 (3) и 30 мин (4) CdS монокристаллов при 293 К.

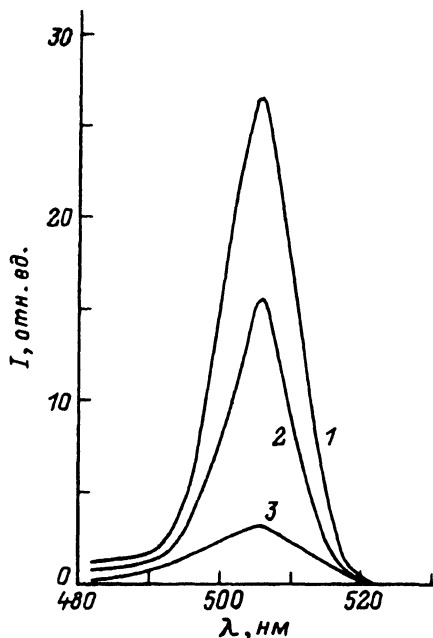


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции неотожженного (1) и облученного электронами 1 МэВ дозами  $5 \cdot 10^{16}$  (2) и  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  (3) CdS монокристаллов при 293 К.

связанного на нейтральном доноре  $I_2$  [6] и свободного A- [7] экситонов (рис. 3, кривая 1).

Отжиг в воздухе при 673 К приводит с возрастанием времени отжига к монотонному увеличению интенсивности излучения A-экситона при 293 К (рис. 1, кривые 2-4). После такого же отжига интенсивность излучения свободного A-экситона при 77 К уменьшается в 1.3-1.7 раз (рис. 3, кривая 3). Максимальное увеличение интенсивности свечения происходит после тридцатиминутного отжига. Отжиг в вакууме при температурах до 90 К как исходных, так и отожженных в воздухе кристаллов не изменяет интенсивности излучения A-экситона ни при 293, ни при 77 К.

Для понимания происходящих при отжигах изменений интенсивности рекомбинационного излучения свободных экситонов необходимо учесть следующее. В работе [2] показано, что при отжиге в кислородосодержащей атмосфере интенсивно образуются центры примесной фотопроводимости  $[V_s-O]$ . При этом значительно уменьшается концентрация донорных центров — вакансий серы, о чем свидетельствует уменьшение после отжигов в воздухе как интенсивности линии излучения  $I_2$  (рис. 3, кривая 3), так и темновой концентрации электронов [2]. По-видимому, уменьшение концентрации донорных дефектов в низкоомном сульфиде кадмия приводит к уменьшению плотности состояний вблизи разрешенных зон, что влечет за собой увеличение времени жизни A-экситона при 293 К, и к увеличению интенсивности регистрируемого излучения. А поскольку донорные дефекты — вакансии серы

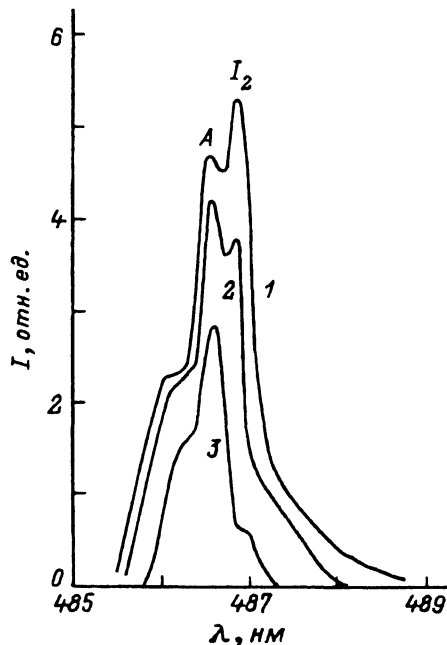


Рис. 3. Спектры фотолюминесценции неотожженного (1), облученного электронами 1 МэВ дозой  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  (2) и необлученного, отожденного при 673 К в течение 15 мин (3) CdS монокристаллов при 77 К.

при 77 К находятся в нейтральном состоянии, то их влияние на время жизни свободных экситонов при этой температуре незначительно. Кроме того, вследствие термостимулированной адсорбции кислорода [8,9], возможно образование приповерхностного градиента концентрации свободных экситонов, направленного в глубь кристалла. Последнее приводит [1] к уменьшению интенсивности их фотолюминесценции при 77 К. Именно этой причиной, по-видимому, обусловлено наблюдаемое уменьшение интенсивности излучения А-экситона при 77 К (рис. 3, кривая 3). В то же время из-за малой толщины образовавшегося слоя с пониженной концентрацией А-экситонов вклад самопоглощения излучения по сравнению с вкладом изменения времени жизни экситонов при 293 К оказывается несущественным.

Облучение электронами 1 МэВ дозами от  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  и выше приводит к значительному уменьшению интенсивности излучения свободного экситона при 293 К (рис. 2, кривые 2, 3). Уменьшение же интенсивности излучения А-экситона при 77 К даже после дозы электронов 1 МэВ  $2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  не превышает 10% (рис. 3, кривая 2). Поскольку при электронном облучении эффективно создаются точечные дефекты, компенсирующие проводимость [10], то возникающие вследствие этого хвосты плотности состояний в запрещенной зоне приводят к уменьшению времени жизни и, следовательно, к уменьшению интенсивности излучения свободных экситонов при 293 К.

Необходимо отметить, что слабая зависимость интенсивности фотолюминесценции А-экситонов при 77 К от термообработок и облучения обусловлены тем, что энергия связи экситона в этом случае значительно превосходит тепловую энергию. В то же время энергия связи

экситона при 293 К сравнима с  $kT$ , что сказывается на его времени жизни, делая последнее более чувствительным к наличию дефектов.

Таким образом, в исследованных монокристаллах CdS решающую роль в определении интенсивности фотолуминесценции свободных экситонов при 293 К оказывают доворные дефекты — вакансии серы. Отжигая эти монокристаллы в кислородосодержащей атмосфере, можно связывать вакансии серы с атомами кислорода, увеличивая при этом интенсивность зеленого свечения свободного экситона при 293 К до 15 и более раз.

### Список литературы

- [1] Яблонский Г.П., Ракович Ю.П., Гладыщук А.А. // ФТП. 1994. Т. 28. С. 625.
- [2] Мак В.Т., Манжара В.С. // Изв. вузов. Физика. 1983. № 6. С. 67.
- [3] Власенко Н.А., Гринь В.Ф., Денисова З.Л., Сальков Е.А. // УФЖ. 1971. Т. 16. С. 159.
- [4] Власенко Н.А., Гринь В.Ф., Денисова З.Л., Сальков Е.А. // УФЖ. 1975. Т. 20. С. 1419.
- [5] Vlasenko N.A., Denisova Z.L. // J. Luminescence. 1984. Vol. 31. P. 412.
- [6] Thomas D.H., Hopfield J.H. // Phys. Rev. 1965. Vol. 128. P. 2135.
- [7] Boiko G.A., Dneprovskii V.S., Kraevskii M.V. et al. // Phys. St. Sol. B. 1978. Vol. 85. P. 111.
- [8] Morrison S.R. // Adv. Catal. 1975. Vol. 7. P. 259.
- [9] Berlincourt D., Jaffe H., Shiozawa L.R. // Phys. Rev. 1963. Vol. 129. P. 1009.
- [10] Галушка А.П., Давидюк Г.Е., Мак В.Т. // ФТП. 1974. Вып. 8. С. 2219.

09;10

Журнал технической физики, т. 66, в. 8, 1996

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С МАЛЫМИ ЦИКЛОТРОННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ ДЛЯ МАЗЕРОВ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

© В.Л.Братман, В.Н.Мануилов, С.В.Самсонов

Институт прикладной физики РАН,  
603600 Нижний Новгород, Россия  
(Поступило в Редакцию 22 мая 1995 г.)

Хорошо известно, что для эффективной работы мазеров на свободных электронах (МСЭ) требуются электронные пучки с очень малым разбросом поступательных скоростей частиц. В большинстве случаев в МСЭ первоначально формируется прямолинейный электронный пучок, который затем раскачивается до необходимой осцилляторной скорости в ондуляторе убитрона или в сравнительно короткой системе раскачки мазера на циклотронном авторезонансе (МЦАР). В ряде важных случаев, когда формируется тонкий сплошной прямолинейный пучок, анодное отверстие электронно-оптической системы действует как рассеивающая электростатическая линза, приводящая к нежелательным пульсациям пучка. При дальнейшей раскачке электронов до рабочей поперечной скорости эти начальные осцилляции мо-