

06;07

Оптическое гашение фототока в тонкопленочных структурах CdSe/диэлектрик

© О.Е. Коваленко

Институт технологии металлов НАН Беларуси, Могилев
E-mail: iponarb@mogilev.by

В окончательной редакции 9 сентября 2005 г.

Исследовано влияние дополнительной подсветки на фотопроводимость планарной тонкопленочной структуры CdSe/полиэтилентерефталат. Изучены зависимости изменения фотопроводимости от длины волны и интенсивности дополнительной подсветки. Рассмотрено влияние частоты модуляции возбуждающего света на спектры оптического гашения фототока.

PACS: 73.50.Pz

Оптическое гашение фототока наблюдается в большинстве полупроводников [1]. Для структур на основе селенида кадмия этот эффект обычно проявлялся при низких температурах [2]. Однако в наноразмерных структурах CdSe-диэлектрик, обладающих фотопроводимостью [3], оптическое гашение регистрировалось при комнатных температурах. Поскольку проявление этого эффекта, например, в фотоэлектрических преобразователях солнечной энергии отрицательно сказывается на характеристиках приборов и, кроме этого, может использоваться для изучения зонной структуры системы электронных состояний в полупроводниках [1], то определенный интерес представляет исследование механизмов гашения фотопроводимости в полупроводниковых наноразмерных структурах.

В настоящем сообщении представлены результаты изучения влияния дополнительной подсветки на фотопроводимость тонкопленочных структур CdSe/полиэтилентерефталат (ПЭТФ), изготовленных послойным осаждением компонент из двух независимых источников методом электронно-лучевого испарения в вакууме [4]. Последним напылялся слой диэлектрика, который выполнял еще и защитную функцию. Толщина пленок варьировалась в пределах от 0.3 до 2 μm .

Концентрация полупроводника изменялась в пределах 29...90 vol.%. Полупроводниковая функция представляла собой кристаллиты со средним размером от 5 до 7 nm, оцененным по „голубому сдвигу“ в спектрах поглощения [4]. Компланарная система индиевых электродов с шириной межэлектродного зазора 1 nm наносилась на поверхность пленок методом термического испарения в вакууме. Контакт электрод-пленка был близок к омическому. Для возбуждения фототока использовался светодиод с максимумом излучения при $\lambda = 510$ nm. Свет модулировался с частотой 23 Hz. Гашение фототока производилось либо пучком квазимонохроматического излучения, сформированного системой „лампа накаливания-монохроматор МДР-3“, либо излучением полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 635$ nm. Спектральная плотность фотонов в выходящем из монохроматора излучении была постоянной и регулировалась изменением напряжения питания лампы. Гасящий свет был не модулирован. Свет из двух источников фокусировался в область межэлектродного промежутка и поглощался в пленке. Напряжение между электродами было равным 300 V. Все основные измерения проводились при комнатной температуре в сухом воздухе. Сигнал, пропорциональный величине фототока, регистрировался в схеме синхродетектирования и после аналогово-цифрового преобразования передавался в память компьютера. В качестве характеристики гашения фототока была использована величина $\Delta I = \frac{I_0 - I_g}{I_0} \cdot 100\%$, где I_0 — фототок тонкопленочной структуры, возбуждаемой светом с длиной волны из области собственного поглощения, а I_g — фототок структуры при воздействии гасящего излучения.

При изучении влияния дополнительной подсветки на фотопроводимость полупроводниковых наноструктур было обнаружено гашение фототока при комнатных температурах. Типичные спектральные зависимости величины гашения фототока приведены на рис. 1. Эффект регистрировался при длинах волн, соответствующих энергии оптической ионизации центров, находящихся в запрещенной зоне, и простирался в область фундаментального поглощения. Следует отметить, чем более фотопроводящим являлся образец, тем более ярко проявлялся эффект. Максимум оптического гашения наблюдался при энергиях фотонов, равных ширине запрещенной зоны полупроводниковых частиц, что связано с заполнением центров прилипания и вследствие этого уменьшением времени жизни неравновесных носителей заряда.

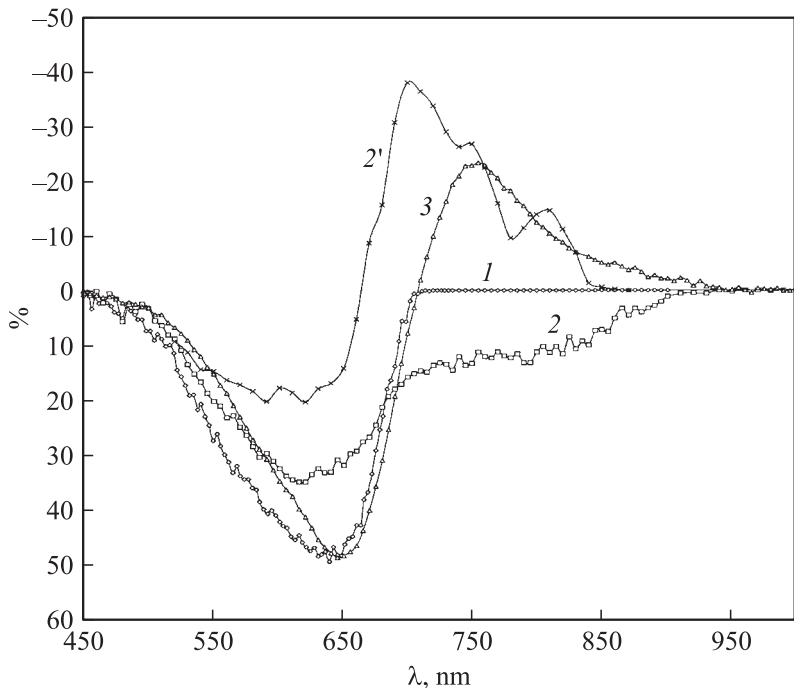


Рис. 1. Спектральное распределение оптического гашения фототока для структур CdSe/ПЭТФ с различной толщиной одиночного слоя ПЭТФ (1 и 3 — 2.32 nm, 2 и 2' — 1.37 nm) и размером полупроводниковых частиц 7 nm (кривые 1 и 3) и 5 nm (кривая 2 и 2'). Содержание полупроводника — 60 vol.%.

Наибольший интерес представляло изменение фотопроводимости при энергиях фотонов дополнительной подсветки меньших E_g . По результатам измерений все образцы условно можно разделить на три группы, для которых:

гашение регистрируется в длинноволновой части спектра (в диапазоне до 950 nm) (рис. 1, кривая 2),

гашение отсутствует при $h\nu < E_g$ (рис. 1, кривая 1),

дополнительная подсветка вызывает увеличение фотопроводимости (рис. 1, кривая 3).

Образцы последней группы при низких частотах модуляции возбуждающего света встречались крайне редко. Однако при более высокой частоте модуляции света увеличение фотопроводимости при дополнительной подсветке было обнаружено и в образцах первой группы. Так, для образца, представленного на рис. 1 кривой 2, эффект гашения исчезал и регистрировалось увеличение фотопроводимости при частоте модуляции возбуждающего света выше 70 Hz (рис. 1, кривая 2'). Последнее может быть объяснено тем, что измерение фотопроводимости при модуляции светового потока с более высокой частотой f не позволяет регистрировать медленные ловушки, времена обмена носителями которых с разрешенными зонами $\tau > 1/f$. Именно такими ловушками, вероятно, и являются уровни, ответственные за гашение фотопроводимости. Подтверждением этому может служить тот факт, что при помещении образца в атмосферу паров аммиака фотопроводимость образца значительно возрастала, а эффект гашения фототока исчезал. Вероятно, молекулы аммиака, обладающие донорными свойствами [5], блокируют уровни рекомбинационных центров, ответственных за механизмы оптического гашения [6]. И, как следует из экспериментов, эффект гашения маскировал эффект увеличения фотопроводимости, который оказался более динамичным. Из рис. 1 (кривая 2') отчетливо видно, что увеличение фотопроводимости в данном случае осуществляется при помощи трех уровней, расположенных в запрещенной зоне на уровнях 1.77, 1.65 и 1.53 eV.

Степень гашения фототока зависела от интенсивности гасящего излучения (рис. 2). Фототок уменьшался обратно пропорционально интенсивности гасящего света. Это вполне объяснимо тем, что концентрация свободных носителей связана с интенсивностью гасящего света [1, с.38]. В случае, представленном кривой 3 на рис. 1, увеличивающая фототок подсветка с $\lambda = 750$ nm не изменяет характер зависимости оптического гашения от интенсивности гасящего света, а только смещает регистрируемый сигнал. Это может свидетельствовать о том, что центры фоточувствительности, ответственные за увеличение сигнала, пространственно не связаны с центрами, которые участвуют в процессе оптического гашения. Причина возникновения таких уровней окончательно не выяснена. Возможно, что появление такого эффекта связано с длительным пребыванием образца в парах аммиака.

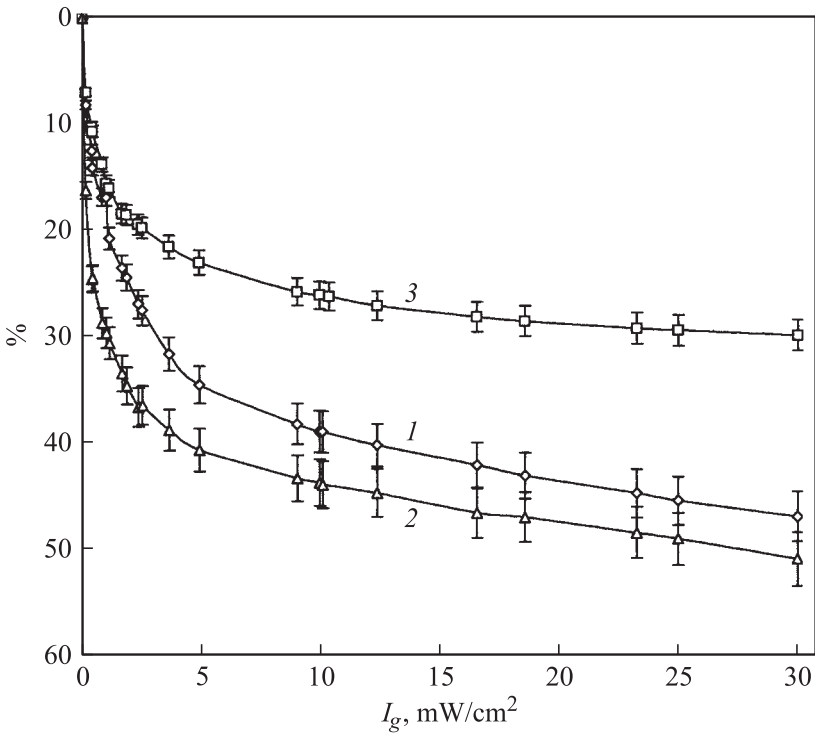


Рис. 2. Зависимость оптического гашения фототока для образцов, представленных на рис. 1, от интенсивности гасящего света.

Таким образом, изучение оптического гашения фототока позволяет получать информацию о фотоэлектрических свойствах тонкопленочных структур, оценивать их качество и получать полупроводниковые наноструктуры с прогнозируемыми свойствами.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Список литературы

- [1] *Лашкарев В.Е., Любченко А.В., Шейнкман М.К.* Неравновесные процессы в фотопроводнике. Киев: Наук. думка, 1981.
- [2] *Бьюб Р.* Фотопроводимость твердых тел. М., 1962.
- [3] *Коваленко О.Е., Войтенков А.И., Редько В.П.* // Докл. Национальной академии наук Беларуси. 2000. Т. 44. В. 5. С. 49–50.
- [4] *Борбицкий А.С., Войтенков А.И., Редько В.П.* // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 13. С. 1–5.
- [5] *Глинка Н.Л.* // Общая химия. Л.: Химия, 1973.
- [6] *Коваленко О.Е., Гузовский В.Г.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 17. С. 63–68.