

Определение концентрации носителей заряда в поликристаллических слоях селенида свинца на основе спектров отражения

© А.Е. Гамарц[¶], Ю.М. Канагеева, В.А. Мошников

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“,
197376 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 31 августа 2004 г. Принята к печати 17 сентября 2004 г.)

Показана возможность неразрушающего, бесконтактного измерения концентрации носителей заряда в поликристаллических слоях селенида свинца по спектрам отражения. Приведены исследования изменения концентрации носителей заряда в таких образцах при проведении кратковременных сенсibiliзирующих отжигов.

Поликристаллические слои на основе халькогенидов свинца многие годы используются для создания фотоприемных и излучающих приборов, работающих в диапазоне 2–5 мкм [1,2]. Интерес к этим материалам вновь резко обострился в связи с разработкой малогабаритных инфракрасных (ИК) абсорбционных газоанализаторов нового поколения [3–5].

Структура и состав поликристаллических пленок селенида свинца (PbSe), применяемых в этих устройствах, подвергаются специальным режимам модификации (очувствления). При этом происходит диффузия кислорода, а также активное окисление [6]. Такая структурная модификация вызывает изменение на разных уровнях свойств [7]. Эти процессы существенным образом зависят от характеристик исходных слоев, в частности от концентрации носителей заряда в них.

Для существования эффекта фоточувствительности в слое свинца при комнатной температуре необходимо наличие зерен *n*-типа со сменой типа проводимости и барьером на границе [8–10]. Наиболее перспективной является структура типа сетки (рис. 1), в которой образуется перколяционный кластер.

Наличие барьерной структуры со сложным токопротеканием затрудняет определение концентрации носителей заряда методами, основанными на кинетических эффектах. Использование метода ИК-отражения благодаря отсутствию протекания тока позволит уточнить данные холловских измерений и результаты количественного термозондового метода [11]. Их совместный анализ позволит создать адекватную модель процессов, протекающих в такой наноструктурированной гетерофазной системе.

Цель настоящей работы состояла в изучении возможности метода ИК-отражения для бесконтактной неразрушающей оценки концентрации носителей заряда с дальнейшим использованием при исследовании физико-химических процессов, протекающих в ходе сенсibiliзации поликристаллических слоев PbSe.

В инфракрасной части спектра наблюдается аномальная дисперсия коэффициента отражения *R*. *R* стремится

к единице по мере того, как частота падающего излучения приближается к плазменной частоте, которая в твердом теле определяется выражением [12]

$$\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{m^* \epsilon_\infty \epsilon_S}}, \quad (1)$$

где *N* — концентрация носителей, *m** — эффективная масса носителей, *e* — заряд электрона, ϵ_S и ϵ_∞ — статическая и динамическая диэлектрические проницаемости. *R* минимален при частоте

$$\omega_{\min} \approx \omega_p \sqrt{\frac{\epsilon_\infty}{\epsilon_\infty - 1}}. \quad (2)$$

Таким образом, по положению плазменного минимума можно определить плазменную частоту и рассчитать концентрацию носителей заряда в образце. Исследуемые структуры представляли собой поликристаллические пленки PbSe, сформированные вакуумным термическим напылением на подложках, прозрачных в ИК-диапазоне (Si, BaF₂, стекло), и подвергнутые многостадийному чувствительному отжигу. Более подробно технология

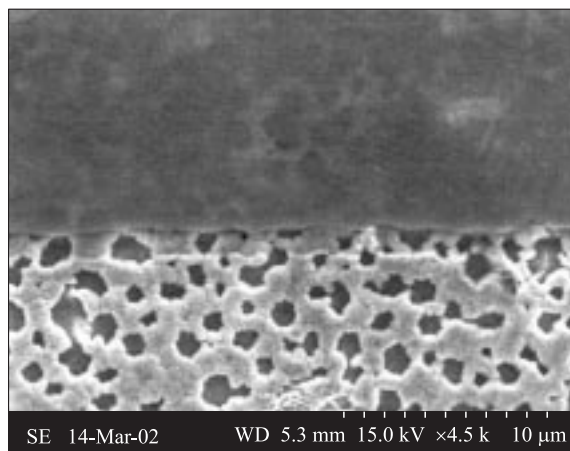


Рис. 1. Фоточувствительный слой селенида свинца с частично снятым пассивирующим покрытием (изображение получено на электронном микроскопе Hitachi S-3500N).

[¶] E-mail: gamarts@mail.ru

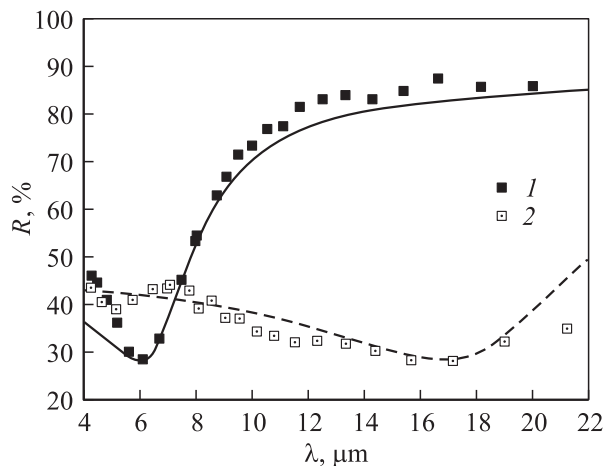


Рис. 2. Спектры отражения поликристаллического слоя селенида свинца: 1 — исходного, 2 — после отжига. Точки — эксперимент, линии — расчет по методу Кухарского и Субашиева.

создания фоточувствительных элементов описана в работе [13].

Исследования проводились с использованием инфракрасного спектрофотометра ИКС-29. Расчет концентрации носителей заряда осуществлялся с помощью написанной в среде LabVIEW-6.0 программы по методу Кухарского и Субашиева [14]. Его преимуществом является то, что анализируется не только положение плазменного минимума, но и его величина, а главное — форма спектра в области $\lambda > \lambda_{\min}$. Это обстоятельство дает возможность определить большее число параметров, характеризующих физические свойства кристаллов.

На рис. 2 и в таблице представлены результаты исследований. Подобные эксперименты проводились на структурах с размерами зерен от 0.1 до 0.3 мкм. Для практических целей использовались кратковременные отжиги, в процессе которых наблюдался сдвиг плазменного минимума, что является аналитическим сигналом для определения диффузионных параметров сенсibiliзирующей примеси. Результаты подтверждают ранее полученные данные о диффузии кислорода в поликристаллических слоях PbSe [15].

Таким образом, в работе показана возможность неразрушающего бесконтактного измерения концентрации носителей заряда в поликристаллических слоях с суб-

Концентрация носителей заряда в поликристаллических пленках PbSe, определенная по спектрам отражения, и использованные в расчете параметры

№ п.п.	Образец	Обработка	λ_{\min} , мкм	λ_p , мкм	ϵ_{∞}	m^*	N , 10^{20} см^{-3}
1	Si/PbSe	—	6.26	6.74	24	$0.22 m_0$	1.3
2	Si/PbSe	$T = 693 \text{ K}$	18.74	19.12	24	$0.11 m_0$	0.081

микронными размерами зерен и сетевой структурой, используемых в качестве фотоприемников и излучателей для среднего ИК-диапазона.

Авторы глубоко признательны проф. А.Н. Вейсу за подробное обсуждение результатов работы и полезные советы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации, грант для поддержки аспирантов, шифр гранта А04-3.15-410.

Список литературы

- [1] A.F. Gibson, W.D. Lawson, T.S. Moss. *Pros. Phys. Soc.*, **A-64**, 1054 (1957).
- [2] J.N. Hamphry, W.W. Scanlon. *Phis. Rev.*, **5** (3), 256 (1957).
- [3] Е.М. Гамарц, В.А. Крылов. *Петербургский журн. электроники*, № 1, 54 (2004).
- [4] I.G. Lukitsa, E.M. Gamarts, V.A. Krylov, S.I. Frantsuzova. *European Patent № 98403035.3-2204* (Приоритет 16.02.99).
- [5] T. Boudet, J. Fantini, E. Gamarts, V. Krilov. *European Patent № 01401408.8-2204* (Приоритет 17.01.01).
- [6] С.М. Репинский. *ФТП*, **35**, 1050 (2001).
- [7] А.И. Попов, В.А. Воронцов, И.А. Попов. *ФТП*, **35**, 665 (2001).
- [8] Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. *ФТП*, **20**, 59 (1986).
- [9] Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. *Микроэлектроника*, **17** (5), 399 (1988).
- [10] В.Т. Трофимов, Ю.Г. Селиванов, Е.Г. Чижевский. *ФТП*, **30**, 755 (1996).
- [11] В.А. Мошников, С.Л. Милославов. В сб.: *Получение и свойства полупроводниковых соединений $A^{II}B^{VI}$ и $A^{IV}B^{VI}$ и твердых растворов на их основе* (М., МИСИС, 1977), с. 302.
- [12] Ю.И. Уханов. *Оптические свойства полупроводников* (М., Наука, 1977).
- [13] Е.М. Гамарц, Н.В. Голубченко, В.А. Мошников, Д.Б. Чеснокова. *Петербургский журн. электроники*, № 4, 11 (2003).
- [14] А.А. Кухарский, В.К. Субашиев. *ФТТ*, **6**, 753 (1966).
- [15] А.Е. Гамарц, В.М. Лебедев, В.А. Мошников, Д.Б. Чеснокова. *ФТП*, **38**, 1195 (2004).

Редактор Л.В. Беляков

Determination of carrier concentration in lead selenide polycrystalline layers using reflection spectrum

A.E. Gamarts, Yu.M. Kanageeva, V.A. Moshnikov

St. Petersburg State Electrotechnical University,
197376 St. Petersburg, Russia

Abstract A possibility of undestroying contactless determination of carrier concentration in polycrystalline PbSe films using reflection measurements in the middle infrared is shown. The investigations of carrier concentration in the samples after short time sensibilizing annealings are carried out.