

©1994 г.

ГЛУБОКИЕ УРОВНИ В МОНО- И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ZnSe, ОБЛУЧЕННОМ ЭЛЕКТРОНАМИ

А.П.Оконечников, Н.Н.Мельник

Уральский политехнический институт им. С.М.Кирова,
Екатеринбург, Россия
(Получена 7 декабря 1993 г. Принята к печати 21 марта 1994 г.)

Изучено влияние структуры ZnSe на образование и отжиг радиационных дефектов.

Изучению свойств глубоких центров захвата (ГЦЗ), образующихся при облучении ZnSe, посвящены работы [1,2]. В обоих случаях использовался низкоомный ZnSe, имеющий отклонение от стехиометрии в сторону избытка цинка. Учитывая, что радиационно-стимулированные процессы в полупроводниках определяются многими факторами и, в частности, дефектностью и структурой исходных образцов [3], представляет интерес провести сравнительные исследования образования и термической стабильности радиационных дефектов (РД) в нелегированном изолирующем моно- и поликристаллическом ZnSe.

В данной работе методом оптической нестационарной токовой спектроскопии глубоких уровней (ОНТСГУ) [4], являющимся модификацией метода DLTS [5] для высокоомных полупроводников, впервые определены энергетические параметры ГЦЗ в облученных электронами нелегированных моно- и поликристаллах (средний размер кристаллитов 70 мкм) ZnSe, выращенных, соответственно, из расплава (ZnSe-1) и химическим осаждением из газовой фазы (ZnSe-2).

Образцы представляли собой пластинки размером $5 \times 5 \times 0.7$ мм³. Омические контакты были получены вжиганием сплава In+Ga в вакууме при 300°C. В качестве источника возбуждения использовалась импульсная лампа ИСШ-15. Спектры ОНТСГУ снимались при помощи прибора, описанного ранее [6]. Облучение проводилось при комнатной температуре электронами с энергией 15 МэВ дозой $1 \cdot 10^{17}$ см⁻². Облученные образцы отжигались в интервале температур 100–350°C с шагом 50°C и выдерживались в течение 15 мин при каждой температуре.

Спектры ОНТСГУ необлученных образцов существенно различаются. Так, для ZnSe-1 (рис. 1) наблюдается один широкий пик с мак-

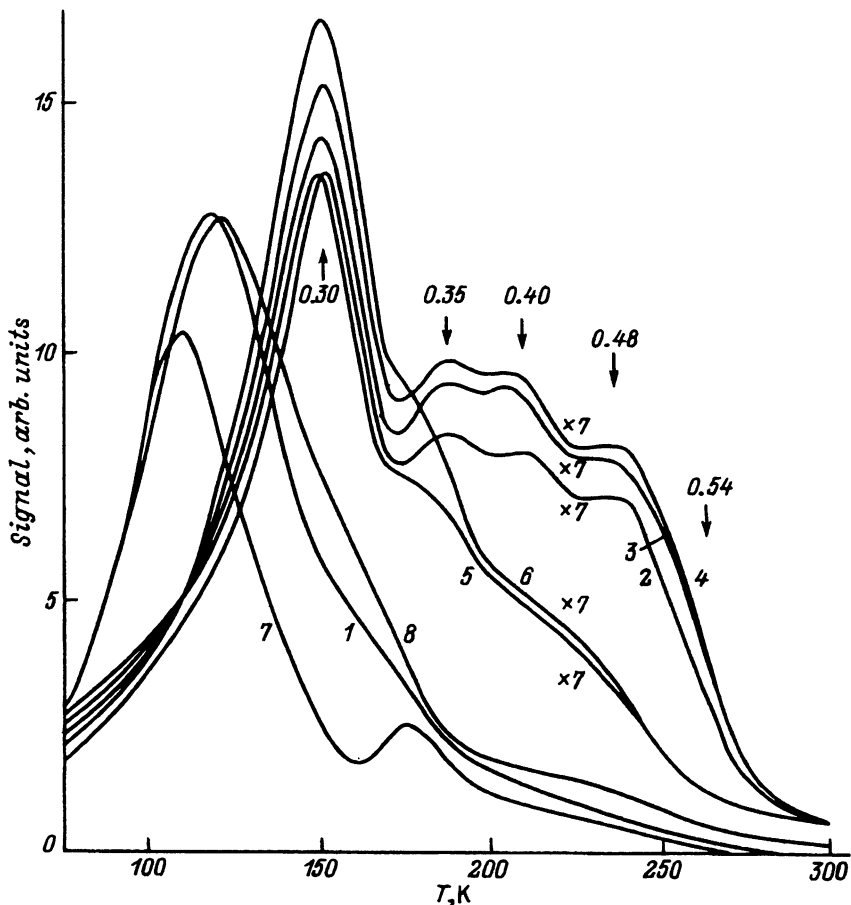


Рис. 1. Спектры ОНТСГУ ZnSe-1 до (1) и после облучения электронами с энергией 15 МэВ без отжига (2) и с последующим изохронным отжигом (3-8). T_a , °С: 3 — 100, 4 — 150, 5 — 200, 6 — 250, 7 — 300, 8 — 350. Окно скорости — 86.2 с^{-1} . Указаны энергии ионизации уровней в эВ.

симумом при 115 К, обусловленный несколькими ГЦЗ, с энергиями 0.13–0.40 эВ (таблица).

В низкотемпературной (до 300 К) части спектра необлученного ZnSe-2 (рис. 2) доминирует пик, обусловленный ловушками с энергией 0.22 эВ. Выявляются также уровни с энергиями ионизации в интервале 0.25–0.48 эВ. В высокотемпературной области спектра наблюдается неэлементарный пик с максимумом при 530 К. Временная зависимость тока, обусловленного термоактивационным освобождением электронов из ловушек в области температур 300–600 К, не может быть представлена суммой нескольких экспонент. Это затрудняет определение параметров соответствующих ГЦЗ, связанных, по-видимому, с межзеренными границами [7,8] и имеющих непрерывное распределение по энергиям в диапазоне 1.0–1.6 эВ.

После облучения электронами спектры ГЦЗ в образцах обоих типов заметно изменились. В спектре ZnSe-1 доминируют пять новых пиков,

Образцы	Уровни центров захвата	Энергия ионизации, эВ	Сечение захвата, см ²
До облучения:			
ZnSe-1	-	0.13-0.40	-
ZnSe-2	-	0.22 ± 0.02	1.1 · 10 ⁻¹⁴
ZnSe-2	-	0.25-0.48	-
ZnSe-2	-	1.0-1.6	-
После облучения:			
ZnSe-1, ZnSe-2	Л1	0.30 ± 0.03	3.6 · 10 ⁻¹⁴
ZnSe-1, ZnSe-2	Л2	0.35 ± 0.04	1.1 · 10 ⁻¹⁴
ZnSe-1, ZnSe-2	Л3	0.43 ± 0.05	6.0 · 10 ⁻¹⁴
ZnSe-1	Л4	0.48 ± 0.06	3.0 · 10 ⁻¹⁵
ZnSe-1, ZnSe-2	Л5	0.54 ± 0.07	7.0 · 10 ⁻¹⁴
ZnSe-2	Л6	0.14 ± 0.02	1.1 · 10 ⁻¹⁴
При отжиге:			
ZnSe-2	Л1-Л3, Л5, Л6	-	-
	Л7	0.18 ± 0.02	6.0 · 10 ⁻¹⁴
	Л8	0.20 ± 0.02	6.0 · 10 ⁻¹⁵
	Л9	0.78 ± 0.09	1.5 · 10 ⁻¹¹

связанных с ловушками, обозначенными Л1-Л5 (таблица). В облученном ZnSe-2 выявляются РД с уровнями, совпадающими с уровнями Л1-Л3, Л5 в ZnSe-1. В спектре отсутствует уровень Л4 и появляется новый уровень Л6.

Термическая стабильность и кинетика отжига дефектов, созданных облучением, различны и определяются структурой образцов.

При отжиге ZnSe-1 до температуры $T_a = 150^\circ\text{C}$ форма спектра изменяется незначительно, а в интервале температур 200-250°C наблюдается относительное уменьшение высоты пиков Л2-Л5 и увеличение пика Л1. После отжига при $T_a = 300^\circ\text{C}$ спектр в значительной степени восстанавливает свою исходную форму, а при $T_a = 350^\circ\text{C}$ он практически совпадает со спектром необлученного образца.

В ZnSe-2 все образованные облучением дефекты в данном диапазоне температур отжига стабильны. Более того, как видно из рис. 2, амплитуда пиков, связанных с уровнями Л5, Л2 и Л3, Л6, начинает увеличиваться при $T_a = 100, 250$ и 300°C соответственно. Высота пика, связанного с уровнем Л1, при отжиге практически не меняется. При $T_a = 300^\circ\text{C}$ образуются новые дефекты с уровнями Л7-Л9.

Фоточувствительность ZnSe-1 после облучения уменьшается на порядок и снова восстанавливается до исходного значения после отжига при 350°C . Это свидетельствует об образовании при облучении и последующем отжиге в ZnSe-1 не только центров захвата, но и центров рекомбинации. Фоточувствительность ZnSe-2 на четыре порядка

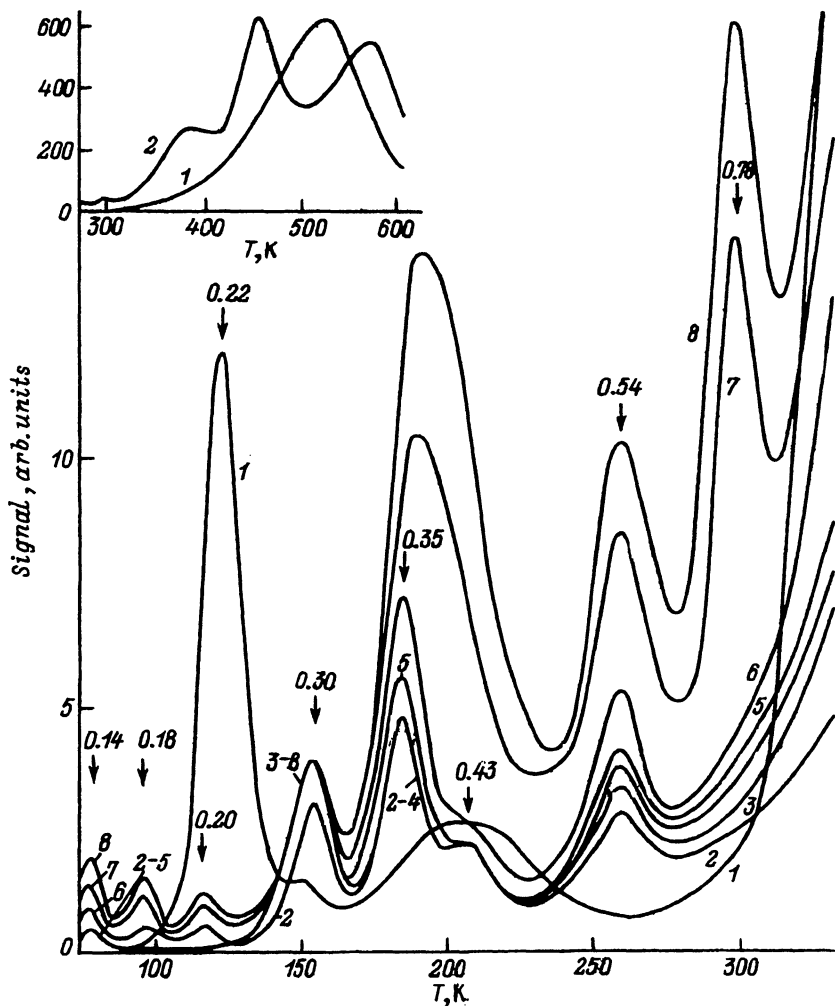


Рис. 2. Спектры ОТСГУ ZnSe-2 до (1) и после облучения электронами с энергией 15 МэВ без отжига (2) и с последующим изохронным отжигом (3-8). T_a , °C: 3 — 100, 4 — 150, 5 — 200, 6 — 250, 7 — 300, 8 — 350. Окно скорости — 86.2 с^{-1} . Указаны энергии ионизации уровней в эВ. На вставке — высокотемпературная часть спектра ОТСГУ исходного (1), а также облученного и отожженного при 350°C образца (2).

меньше, чем в ZnSe-1, причем ни облучение, ни последующий отжиг практически не влияют на ее величину.

Полученные данные о свойствах облученных и отожженных кристаллов ZnSe можно проанализировать на основе модельных представлений радиационно-стимулированных процессов в полупроводниках [3].

Учитывая, что энергетические спектры ГПЗ в облученных ZnSe-1 и ZnSe-2 близки, можно утверждать, что в первом приближении как первичный процесс (образование френкелевских пар), так и вторичный

(комплексообразование), следствием которого является формирование систем квазистабильных РД, в них одинаковы.

Сопоставляя спектры ОНТСГУ отоженных при различных температурах облученных кристаллов ZnSe-1, можно утверждать, что каждому типу РД в кристалле соответствует один энергетический уровень, и что все РД отжигаются при различных температурах. Наблюдаемое при отжиге уменьшение пиков L_2 - L_5 и одновременное увеличение пика L_1 свидетельствует о том, что связанные с пиками L_2 - L_5 уровни обусловлены комплексами. При их распаде образуется более стабильный РД с уровнем L_1 .

Поскольку в кристаллах с различной структурой после облучения наблюдаются в основном одни и те же дефекты, можно сделать вывод о том, что большинство из них являются комплексами собственных дефектов, например бивакансиями. Подтверждением этому могут служить результаты работы [9], в которой авторы изучали зависимость концентрации дефектов с уровнем 0.33 эВ от отношения давления паров цинка и селена при выращивании эпитаксиальных слоев ZnSe и показали, что уровень обусловлен бивакансией. Этот уровень в пределах погрешности совпадает с уровнем 0.35 эВ данной работы. За уровни L_4 и L_6 ответственны, очевидно, комплексы, образованные собственными дефектами и неконтролируемыми примесями, поскольку каждый из них наблюдается только в одном из образцов.

Существенное отличие процессов отжига РД в поликристаллах обусловлено наличием в них межзеренных границ, оказывающих влияние на многие электрофизические характеристики поликристаллических полупроводников и являющихся, в частности, эффективными стоками для подвижных точечных дефектов [7,8]. При термоактивированном распаде комплексов более подвижные дефекты, преимущественно межузельные атомы, уходят на стоки, что затрудняет последующий отжиг френкелевских пар. Этим обусловлена более высокая термическая стабильность РД в поликристаллах и необратимость изменения свойств последних при облучении.

Таким образом, в данной работе выявлено влияние исходной структуры на процессы образования и отжига РД в ZnSe. Показано, что в монокристаллическом ZnSe РД, проявляющие свойства глубоких центров захвата, отжигаются при температурах до 350°C, а в поликристаллических образцах в этом интервале температур доминирует процесс перестройки РД и образования новых термостабильных комплексов.

Список литературы

- [1] D. Verity, F.J. Bryant, J.J. Davies, J.E. Nicholls, C.G. Scott, D. Shaw. *J. Phys. C.: Sol. St. Phys.*, **15**, 5497 (1982).
- [2] A. Heurtel, R. Leqras, Y. Marfaing et al. *Mater. Sci. Forum.*, **10-12**, 835 (1986).
- [3] *Физические процессы в облученных полупроводниках*, под ред. Л.С. Смирнова (Новосибирск, 1977).
- [4] S. Hurtes, M. Boulou, A. Mittonneau et al. *Appl. Phys. Lett.*, **32**, 821 (1978).
- [5] D.V. Lang. *J. Appl. Phys.*, **45**, 3023 (1974).
- [6] Н.Н. Мельник, А.П. Окопечников. ПТЭ, вып. 5, 71 (1986).
- [7] *Поликристаллические полупроводники: Физические свойства и применения*, под ред. Г. Харбеке (М., Мир, 1989).
- [8] Г. Матаре. *Электроника дефектов в полупроводниках* (М., 1974).
- [9] P. Besomi, B.W. Wessels. *J. Appl. Phys.*, **53**, 3076 (1982).

Редактор Л.В. Шаронова

Deep Levels in Single and Poly-Crystals of ZnSe Irradiated by Electrons

A.P.Okonechnikov and N.N.Melnik

S.M.Kirov Polytechnical Institute in the Urals, Yekaterinburg, Russia
