

06

Влияние гамма-облучения на ширину запрещенной зоны ZnSe

© В.Т. Мак, В.С. Манжара, В.И. Бейзым, В.И. Хиврич

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Одесса
Институт физики НАН Украины, Киев
Научный центр Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев
E-mail: vmak@te.net.ua

Поступило в Редакцию 2 апреля 2002 г.

Исследовано влияние гамма-облучения ^{60}Co на спектры экситонной фотолюминесценции монокристаллов селенида цинка при 4.2 К. Обнаружено, что при увеличении дозы облучения максимумы экситонной фотолюминесценции при малых дозах смещаются в высокоэнергетичную область, а при больших дозах — к своему первоначальному положению. Сделан вывод, что указанное смещение обусловлено изменениями ширины запрещенной зоны полупроводника, имеющими место вследствие радиационно стимулированных процессов твердофазной перекристаллизации и накопления точечных дефектов при облучении.

Среди многочисленных исследований радиационных эффектов в полупроводниковых материалах и структурах лишь малая доля посвящена изучению изменения ширины запрещенной зоны. При этом во всех исследуемых случаях ширина запрещенной зоны в результате облучения ядерными частицами уменьшалась, что связывается либо с введением высокой концентрации точечных дефектов, либо с деструкцией кристаллической решетки при высоких дозах облучения тяжелыми ядерными частицами (быстрыми нейтронами, протонами, ионами) или высокоэнергетическими электронами. В то же время в ряде работ [1,2] было показано, что радиационно стимулированные процессы, обусловленные высоким уровнем ионизации при облучении, могут существенно влиять на результирующий радиационный эффект. Роль ионизационного фактора возрастает при увеличении доли ионной связи в полупроводниках [3]. В связи с этим следует ожидать в ковалентном полупроводнике с некоторой долей ионной связи, каковым является селенид цинка, определенной реакции на облучение малыми дозами гамма-фотонов ^{60}Co .

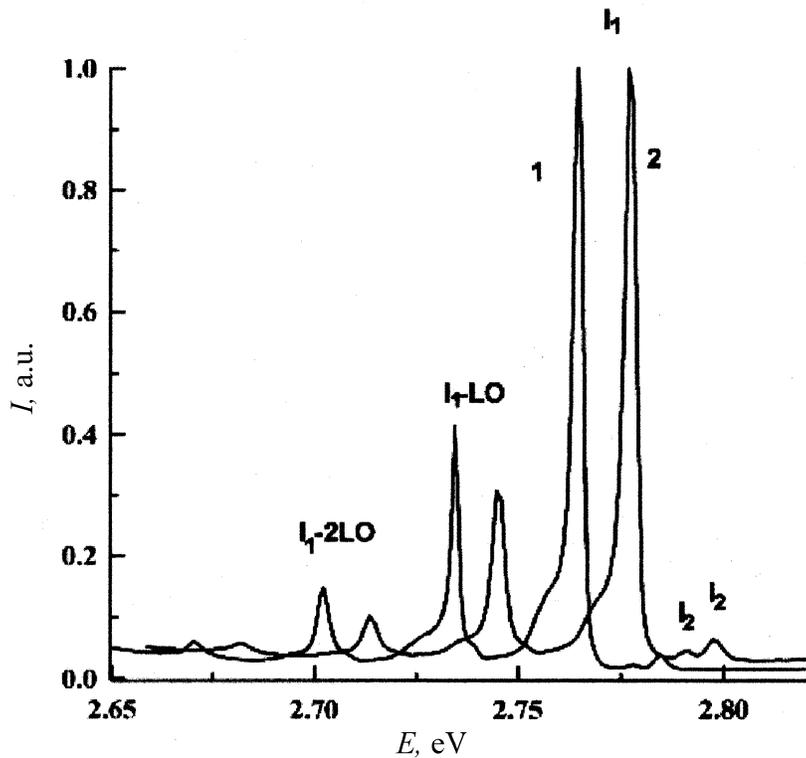


Рис. 1. Спектральное распределение фотолюминесценции монокристалла ZnSe при 4.2 К до (1) и после (2) гамма-облучения дозой 10^4 rad.

В работе исследовалось влияние облучения различными дозами гамма-фотонов на фотолюминесцентные и структурные свойства монокристаллов ZnSe, выращенных из расплава под давлением. Фотолюминесценция регистрировалась при 4.2 К в области края поглощения на свежих сколах. Структура монокристаллов контролировалась по рентгеновским топограммам и дифрактограммам.

В спектре фотолюминесценции монокристаллов ZnSe до облучения (рис. 1, кривая 1) присутствовали линии излучения экситонов, связанных на нейтральном акцепторе I_1 , ее фононные повторения и

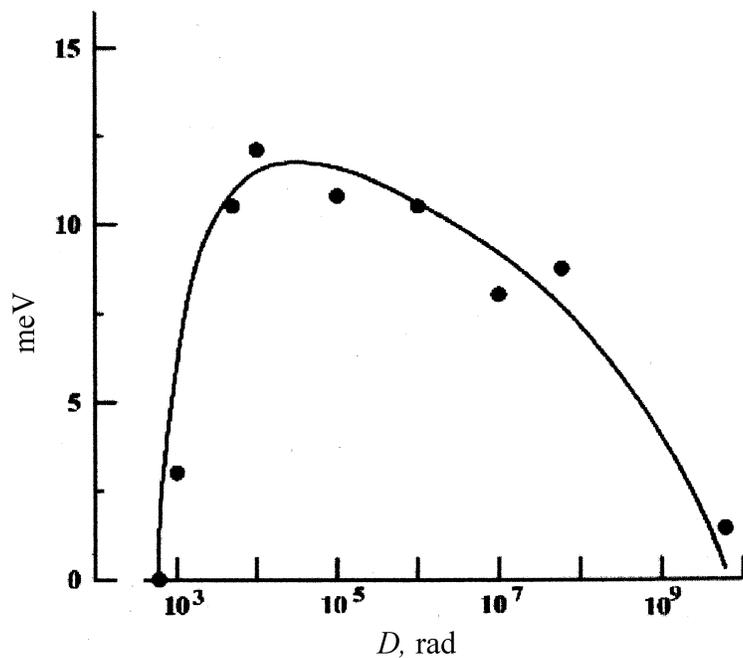


Рис. 2. Дозовая зависимость изменения ширины запрещенной зоны ZnSe.

линии экситонов, связанных на нейтральных донорах I_2 [4]. После гамма-облучения максимумы экситонных линий смещаются в высокоэнергетическую область (рис. 1, кривая 2), причем интенсивности как бесфонных линий, так и их фонное повторение изменяются незначительно. Величина смещения δ немонотонно зависит от дозы гамма-облучения и имеет максимальное значение, близкое к 12 meV при дозе около 10^4 rad. Дозовая зависимость величины смещения максимумов в спектрах фотолюминесценции приведена на рис. 2. Особенностью данной дозовой зависимости является увеличение величины смещения δ в области малых доз ($D \leq 10^4$ rad) и его уменьшение в области больших доз ($D > 10^5$ rad). Экспериментально обнаруженная немонотонность дозовой зависимости положения полос экситонного излучения монокристаллов селенида цинка может быть объяснена на-

личием в кристаллах двух конкурирующих процессов, один из которых, преобладающий при малых дозах, приводит к увеличению смещения δ , а другой, преобладающий при больших дозах, вызывает сдвиг полос излучения в длинноволновую область спектра.

Как известно, энергия излучения связанного экситона определяется выражением [5]

$$h\nu = E_g - E_i - E_i^c,$$

где E_g — ширина запрещенной зоны полупроводника, $E_i = \frac{2\pi^2\mu e^4}{h^2\epsilon}$ — внутренняя энергия экситона с квантовым числом $n = 1$ и E_i^c — энергия связи экситона с нейтральным донором или акцептором (обозначения такие же, как и в [5]). Внутренняя энергия экситона в рассматриваемом случае равна 25 meV и не изменяется при облучении. Энергии связи экситона на нейтральном доноре и нейтральном акцепторе различны, вследствие чего различно положение максимумов излучения соответствующих экситонов в спектрах фотолюминесценции. Поэтому если бы под действием облучения изменялась внутренняя энергия экситона, то величины смещений линий, связанных на нейтральных донорах и нейтральных акцепторах экситонов, были бы различны. В проведенных же исследованиях эти смещения в пределах погрешности эксперимента совпадали. Таким образом, можно сделать вывод, что под действием гамма-облучения изменяется ширина запрещенной зоны селенида цинка. Это изменение ширины запрещенной зоны равно смещению δ максимумов экситонных линий. О причинах изменения ширины запрещенной зоны селенида цинка при гамма-облучении можно высказать следующие соображения.

Согласно работам [2,3,6], в полупроводниковых соединениях возможны процессы твердофазной перекристаллизации под действием малых доз гамма-облучения. В результате этих процессов имеет место появление новой кристаллической фазы, изменение размеров кристаллитов, смещение границ и рост кристаллических блоков и т.п. В свою очередь, энергетическая зонная структура полупроводника зависит от его кристаллической структуры. Поэтому при радиационно стимулированной твердофазной перекристаллизации неизбежно изменение ширины запрещенной зоны облучаемого материала. Рентгенодифрактометрические и топографические исследования подтвердили факт протекания радиационно стимулированной низкотемпературной перекристаллизации селенида цинка. На рентгеновских топограммах четко проявляется блочная структура кристалла ZnSe до облучения,

которая практически полностью исчезает после гамма-облучения. Кроме того, до облучения на рентгенодифрактограммах селенида цинка присутствуют лишь отражения, соответствующие сфалеритной фазе, а после гамма-облучения появляются отражения, которые могут быть идентифицированы как отражения от вюрцитной фазы.

По-видимому, при малых дозах гамма-облучения преимущественную роль играют процессы твердофазной перекристаллизации, и именно они ответственны за увеличение ширины запрещенной зоны селенида цинка. При высоких дозах гамма-облучения накапливаются точечные радиационные дефекты, приводящие к появлению хвостов плотности состояний в запрещенной зоне, что, возможно, проявляется как уменьшение ее ширины. Подтверждением этому служит наблюдаемое в наших экспериментах длинноволновое смещение края поглощения при высоких дозах облучения. Оба эти процесса приводят к немонотонному изменению величины δ , приведенному на рис. 2.

Таким образом, в работе впервые экспериментально обнаружена немонотонная зависимость положения полос экситонного излучения монокристаллов селенида цинка от дозы облучения гамма квантами, которая может быть объяснена наличием двух конкурирующих процессов: увеличением ширины запрещенной зоны полупроводника вследствие радиационно стимулированной твердофазной перекристаллизации при малых дозах и ее уменьшением вследствие накопления точечных дефектов при длительном облучении.

Считаем своим приятным долгом выразить благодарность В.П. Цвиргуну за помощь в проведении облучения.

Список литературы

- [1] *Мак В.Т.* // ФТП. 1996. Т. 30. В. 2. С. 292–295.
- [2] *Мак В.Т.* // ПЖТФ. 1989. Т. 15. В. 12. С. 17–19.
- [3] *Мак В.Т.* Роль радіаційно стимульованих процесів в модифікації властивостей напівпровідників і напівпровідникових приладів з дефектами структури: Автореф. дис. д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.07. Ч.: Чернівецький держ. унів-т, 1997. 30 с.
- [4] *Dean P.J., Merz J.L.* // Phys. Rev. 1969. V. 178. N 3. P. 1310–1318.
- [5] *Сердюк В.В., Ваксман Ю.Ф.* Люминесценция полупроводников. Киев: Выща школа, 1988. 199 с.
- [6] *Мак В.Т., Буковский В.Е., Рахлин М.Я.* // ФТТ. 1989. Т. 34. В. 9. С. 251–253.