

Д. т. н. В. А. МОКРИЦКИЙ, д. т. н. С. В. ЛЕНКОВ,  
О. В. МАСЛОВ, С. А. САВЕЛЬЕВ

Украина, г. Одесса, Гос. политехнический университет, Ин-т проблем критических технологий и надежности радиоэлектроники  
E-mail: vadim@vag.intas.odessa.ua

Дата поступления в редакцию  
26. 01 2001 г.

Оппоненты д. т. н. М. В. МАКСИМОВ,  
д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ

## ОБРАБОТКА МОНОКРИСТАЛЛОВ CdZnTe ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДАТЧИКАХ $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ

*Термополевая обработка монокристаллов КЦТ приводит к уменьшению уровня шумов в датчике и улучшению разрешающей способности  $\gamma$ -спектроскопии.*

Существующие средства контроля радиационной обстановки и режимов работы радиоактивных источников уже не в полной мере решают возникающие задачи. Это относится к их разрешающей способности, достоверности спектральных характеристик, надежности и удобству применения в жестких условиях эксплуатации, технологичности и экономической эффективности изготовления и многому другому. Один из путей улучшения показателей существующих датчиков  $\gamma$ -излучения – изменение конструкции, совершенствование их электронных узлов. Однако и это не позволяет достичь существенных результатов. Более эффективным является путь создания детекторов нового поколения, использующих многокомпонентные полупроводниковые соединения. При этом возникает проблема, связанная с нестабильностью исходных свойств таких материалов [1].

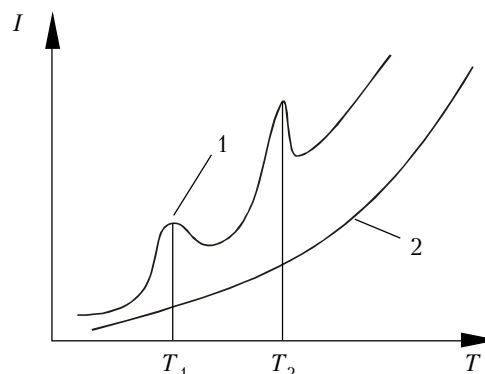
Целью настоящей статьи является исследование возможности коррекции свойств исходных материалов для создания датчиков измерителей уровня поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения на основе тройного соединения  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  (КЦТ).

Для создания датчика  $\gamma$ -излучения использовались монокристаллы  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  ( $x = 0,06$ ) в форме параллелепипеда размерами  $(5...9) \times (5...9) \times 2$  мм с удельным сопротивлением  $(0,6...1,5) \cdot 10^9$  Ом·см. Омические контакты покрывали наибольшие грани и создавались химическим нанесением золота. Датчики исследовались при напряжении питания  $\pm 175$  В, температуре  $+21^\circ\text{C}$  и выдержке в темноте в течение 24 и 48 часов.

Исследования показали неоднородность и нестабильность свойств датчиков, наличие шумов на уровне  $1...5$  мВ, что исключало возможность измерения спектра излучения  $\gamma^{137}\text{Cs}$ . Для определения природы таких недостатков и разработки мер по их устранению изучено влияние электрического поля, нагрева и освещения на свойства исходных монокристаллов CdZnTe.

В нормальном режиме работы датчика при рабочем напряжении  $U_p = 200...400$  В в кристалле толщиной 2 мм электрическое поле имеет напряженность  $(1...2) \cdot 10^5$  В/м. Однако длительное воздействие электрического тока (100–200 ч) уже при  $0,5 \cdot 10^4$  В/м резко увеличивает уровень шума и в 10–40 раз уменьшает удельное сопротивление в исходных кристаллах. Сделано предположение, что эти явления вызваны скоплениями дефектов в объеме кристалла. Они способны играть роль центров захвата носителей заряда (такие центры захвата должны определенным образом распределяться в запрещенной зоне CdZnTe). Обнаружено, что при охлаждении до  $-15^\circ\text{C}$  шумы в кристалле уменьшались, а удельное сопротивление увеличивалось в десятки раз. Это позволяет говорить о термополевом механизме возбуждения таких центров.

Для оценки глубины и характера распределения центров захвата измерены спектры термостимулированной проводимости (ТСП) кристаллов. Для этого их охлаждали до  $-15^\circ\text{C}$  при напряжении питания 10...20 В и освещали белым светом (в этих условиях центры захвата должны заполниться носителями заряда). Вслед за этим кристалл нагревали с известной скоростью  $dT/dt = \text{const}$  ( $T$  – температура,  $t$  – время) и измеряли температурную зависимость тока  $I(T)$ . При определенных значениях температуры  $T_1$  и  $T_2$  из центров захвата, имеющих разную глубину, освобождаются электроны. Поэтому на кривой ТСП (см. **рисунок**) появляются максимумы, соответствующие этим центрам (кривая 1). Изменяя значения



Спектр термостимулированной проводимости кристаллов CdZnTe

$T_1, T_2$  и  $dT/dt = \text{const}$ , можно определить энергию и концентрацию центров захвата. В случае их отсутствия график ТСП имел бы монотонный характер (кривая 2).

Исследуемые образцы кристаллов, как показали расчеты, имели в исходном состоянии большую концентрацию таких центров захвата, почти равномерно распределенных в запрещенной зоне в интервале энергий 0,1...0,6 эВ. Одной из причин этого может служить образование дефектов с участием хлора, используемого в качестве компенсирующей примеси при синтезе кристаллов CdZnTe для повышения их удельного сопротивления.

Хлор способен создавать нейтральные комплексы с остаточными донорными и акцепторными примесями. В электрических полях с напряженностью от  $0,5 \cdot 10^4$  В/м комплексы могут частично диссоциировать, образуя глубокие центры захвата носителей заряда. Это предположение подтверждается обнаруженным в кристаллах увеличением до 3–15 ч времени релаксации фотопроводимости и уровня флуктуационных шумов.

Обнаруженные недостатки не позволяют создавать на основе исходных кристаллов КЦТ качественные датчики  $\gamma$ -излучения. Для решения такой задачи необходимо устранить в них исходные дефекты и комплексы. Это можно осуществлять путем одновременного воздействия электрического поля и нагрева, т. е. применить известный метод термополевой обработки (ТПО). ТПО способна уменьшать концентрацию дефектов за счет аннигиляции вакансий с межузельными атомами, а также выхода вакансий из объема на поверхность кристалла.

В нашем случае ТПО проводилось в течение 6 ч при  $T=102-107^\circ\text{C}$  и напряжении  $\pm 400$  В. В результате этого амплитуда шума уменьшилась в 5–8 раз, сопротивление кристаллов увеличилось на 20%, улучшилась форма спектров от тестового источника  $\gamma$ - $^{137}\text{Cs}$  (стал круче правый скат пика полного по-

глощения). Все это позволило увеличить рабочее напряжение питания детектора до 200–400 В.

Анализ полученных результатов показывает, что ТПО уменьшает число дефектов исходных кристаллов КЦТ, уменьшая тем самым концентрацию центров захвата носителей заряда.

Созданные на основе таких КЦТ детекторы обнаруживают важную практическую особенность – анизотропию чувствительности к  $\gamma$ -излучению. Наблюдаемую анизотропию чувствительности детектора можно оценить по соотношению параметров  $l_e$  (длина трека торможения фотоэлектрона),  $U_p$  (рабочее напряжение детектора),  $d$  (толщина кристалла),  $\mu_e, \tau_e$  (подвижность и время жизни электрона в кристалле). Анизотропность должна проявляться слабо, если

$$l_e \ll \mu_e \tau_e U_p / d.$$

При компланарном расположении пучка  $\gamma$ -квантов и вектора электрического поля амплитуда счетных импульсов на 10–12% больше, улучшается энергетическое разрешение детектора.

\*\*\*

Таким образом, уменьшение влияния неоднородности и нестабильности свойств исходных кристаллов КЦТ на параметры детектора  $\gamma$ -излучения может быть достигнуто путем термополевой обработки, которая позволяет в 5–8 раз уменьшить шумы и увеличить рабочее напряжение детектора.

На основе кристаллов КЦТ, прошедших ТПО, могут быть созданы детекторы для измерителей уровня поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения с улучшенным (на 10–20%) разрешением по энергиям.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алексеев Л. А., Дорогов П. Г., Иванов В. И., Хусайнов А. Х. Теллурид-кадмиевые детекторы гамма-излучения с высоким энергетическим разрешением // ПТЭ. – 1985. – № 1. – С. 54–59.

#### П О Д П И С К А

ЕСЛИ ВЫ ХОТИТЕ ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ "ТКЭА",  
НАЧИНАЯ С ЛЮБОГО НОМЕРА 2001 Г.

- переведите в адрес редакции **по почте** (Украина, 65028, Одесса, ул. Б. Хмельницкого, 59) или на **указанный расчетный счет** соответствующую сумму (цена одного номера – 15 грн.);
- **не забудьте** прислать в редакцию письмо-заявку с адресом, по которому нужно высылать журнал, и копию документа, подтверждающего оплату.

#### Реквизиты для перечисления на счет

✓ **в гривнах:**

**Получатель** ДП "Нептун-Технология", ОКПО 24543343. **Банк получателя:** Отд. № 6 "Ильичевское" ЦО ПИБ в г. Одессе, МФО 328135, р/с 26002301535969. **Назначение платежа:** за подписку на журнал "ТКЭА".

✓ **в российских рублях:**

**Корсчет** Проминвестбанка Украины № 3011181000000000284 в Сбербанке России, БИК 044525225, ИНН 7707083893, корсчет № 3010181040000000225 в ОПЕРУ Московского ГТУ Банка России. **Назначение платежа:** для ДП "Нептун-Технология", ОКПО 24543343, р/с 6002301535969, код 810 в отд. № 6 "Ильичевское" ЦО ПИБ в г. Одессе, МФО 328135, за подписку на журнал "ТКЭА".

Т К Э А

Т К Э А

П О Д П И С К А