

06

Рентгеноиндуцированная проводимость Ga_2Se_3

© К.В. Савченко

Национальный технический университет „ХПИ“,
Национальный научный центр „ИПА“ УААН, Харьков, Украина
E-mail: konstantin@kharkov.com

Поступило в Редакцию 22 апреля 2008 г.

Представлены результаты измерений рентгеноиндуцированной проводимости при постоянном токе образцов Ga_2Se_3 , характеризующихся аномально высокой радиационной стойкостью, в зависимости от интенсивности рентгеновского излучения, падающего на образец. Полученные результаты позволяют предложить Ga_2Se_3 для использования в качестве рабочего элемента детектора для дозиметрии рентгеновского излучения в исследованном диапазоне интенсивностей.

PACS: 72.20-i, 07.85.Fv, 52.70.La

Со времени публикации первых результатов изучения фотопроводимости соединения Ga_2Se_3 [1] прошло более 50 лет, однако интерес исследователей к этим кристаллам до сих пор не ослабевает.

Эффект аномально высокой радиационной стойкости кристаллов In_2Te_3 , Ga_2Te_3 и Ga_2Se_3 позволяет использовать эти полупроводниковые соединения в качестве рабочих элементов детекторов для дозиметрии больших доз и интенсивностей ионизирующих излучений [2–5]. Характерная особенность соединений типа $A_2^{IV}B_3^{VI}$ состоит в том, что различная валентность катионов и анионов и тетраэдрическая координация атомов в кристаллической структуре цинковой обманки (сфалерит, группа симметрии $F\bar{4}3m$ [6]) приводит к отсутствию катионов в 1/3 позиций катионной подрешетки. Эти структурные дефекты (стехиометрические вакансии) имеют концентрацию $\sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ и определяют аномальные свойства этих соединений. Возможность образования в кристаллической решетке зон неустойчивости взаимодействующих дефектов, возможность существования дефектов из неустойчивых пар вакансии–атом в междоузлии, возможность каналирования и подавления атомной фокусировки при поглощении частиц и квантов вы-

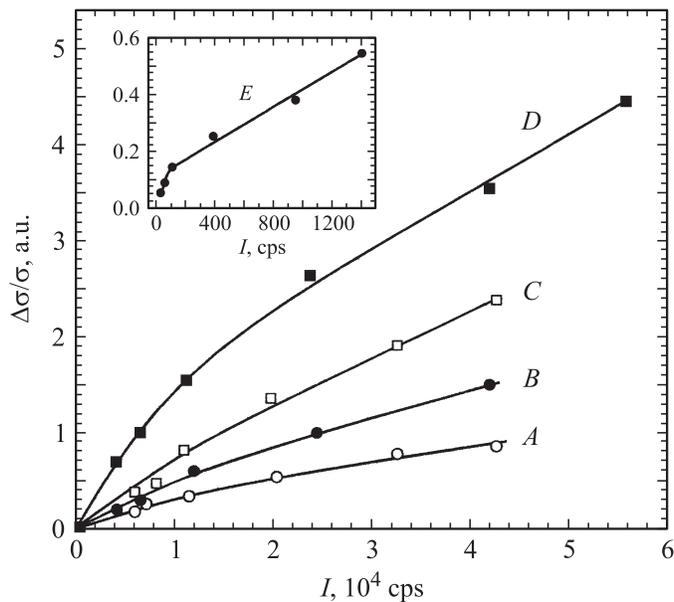
соких энергий являются свойствами, определяющими аномально высокий радиационный ресурс веществ [7–9].

В последние годы изучение свойств Ga_2Se_3 стимулировано перспективой его использования в электронных устройствах [10–13]. Было проведено теоретическое рассмотрение структурных и электронных свойств орторомбической β -модификации Ga_2Se_3 [13], изучена дефектная структура кристаллов Ga_2Se_3 , легированных иттербием и марганцем [14], выполнены теоретические расчеты электронной структуры кристаллов Ga_2Se_3 , легированных примесями p - и n -типа [15,16]. Электрические свойства фаз высокого давления Ga_2Se_3 , In_2Te_3 и Ga_2Te_3 , а также фазовые переходы под давлением в Ga_2Se_3 рассмотрены в работах [17–19]. Закономерности гамма-индуцированной проводимости Ga_2Se_3 рассмотрены в работе [20], а результаты настоящего исследования рентгеноиндуцированной проводимости Ga_2Se_3 впервые были представлены на конференции [21]. Ранее такие исследования для соединений типа $A_2^{IV}B_3^{VI}$ проведены не были.

В настоящей работе представлены результаты измерений рентгеноиндуцированной проводимости образцов Ga_2Se_3 в зависимости от интенсивности рентгеновского излучения, падающего на образец.

Кристаллы Ga_2Se_3 были выращены методом Бриджмена–Стокбаргера и идентифицированы с помощью рентгенофазового анализа, как это было описано ранее в работе [17]. Синтез Ga_2Se_3 был проведен из высокочистых элементов галлия (99.9997%) и селена (99.9999%; ОСЧ 22-4), сверхстехиометрическое содержание селена составляло 0.2 at.% (более точная формула соединения: $Ga_2Se_{3.025}$). Температура в печи во время синтеза и роста кристаллов была стабилизирована с точностью ± 0.5 К с помощью высокоточного регулятора температуры типа ВРТ-3. Протяжку ампулы во время роста кристаллов проводили со скоростью около $5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Градиент температуры составлял около $20 \text{ K} \cdot \text{cm}^{-1}$ в области роста кристаллов. Контроль однородности слитков осуществляли с помощью метода масс-спектрометрического анализа (масс-спектрометр „LAMMA-1000“, Leybold-Heraeus), а также методом измерения термоэдс с помощью нагретого зонда-термопары.

Кристаллы $Ga_2Se_{3.025}$ для исследования электрических свойств представляли собой правильной формы образцы размером приблизительно $4 \times 4 \times 2 \text{ mm}$ с напаянными контактами из индия на предварительно



Зависимости относительного изменения удельной электропроводности ($\Delta\sigma/\sigma$) образцов $\text{Ga}_2\text{Se}_{3.025}$ от интенсивности (I) падающего на образец рентгеновского излучения. Напряжение на трубке составляло 17 kV (кривые A и C), 28 kV (кривые B и D) и 8 kV (вставка, кривая E).

нанесенные методом термического испарения в вакууме металлические слои из золота или серебра. Измерения вольт-амперных характеристик образцов показали омичность контактов. Измерения электрического сопротивления проводили при постоянном токе при комнатной температуре, после выдержки образцов в темноте. Был использован метод падения напряжения на эталонном сопротивлении. Измерения малых токов до 10^{-14} А проводили с помощью прибора ИМТ-05, выход которого был подключен к цифровому вольтметру типа В7-21. В качестве источника стабилизированного напряжения был использован блок питания типа ТВ-1. Измерение рентгеноиндуцированной проводимости образцов $\text{Ga}_2\text{Se}_{3.025}$ было проведено с помощью излучения CuK_α и K_β от рентгеновской трубки порошкового дифрактометра типа

ДРОН-3. При фиксированном напряжении на трубке 8, 17 или 28 kV ток варьировали в пределах от 2.5 до 40 mA. Это соответствовало изменению интенсивности (I) падающего на образец рентгеновского излучения от 30 до 5.6×10^4 cps. Постоянное напряжение на образце составляло 10 V.

На рисунке представлены зависимости относительного изменения удельной рентгеноиндуцированной электропроводности $Ga_2Se_{3.025}$ ($\Delta\sigma/\sigma$) на постоянном токе для образцов № 1 (кривые A и B ; $\sigma = 1.74 \cdot 10^{-12} \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$) и № 2 (кривые C , D и E ; $\sigma = 1.5 \cdot 10^{-12} \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$) от интенсивности (I) падающего на образец рентгеновского излучения в стационарном режиме при комнатной температуре; σ — величина удельной электропроводности образца при отсутствии рентгеновского излучения, а $\Delta\sigma$ — абсолютное изменение удельной электропроводности образцов при облучении потоком рентгеновского излучения. Зависимости относительного изменения удельной электропроводности $\Delta\sigma/\sigma = f(I)$ (рис. 1, $A-D$) могут быть аппроксимированы экспоненциальными функциями с коэффициентами корреляции 0.974, 0.987, 0.983 и 0.995 соответственно. Аппроксимирующая функция имеет вид

$$y(x) = y_0 + A \exp(x/t),$$

где аргументу x соответствует величина I , функции y — величина $\Delta\sigma/\sigma$, а y_0 , A и t — варьируемые коэффициенты. Для кривой D , например, они принимают значения: $y_0 = 6.4613$, $A = -6.19376$ и $t = -51707.9$.

Явления долговременной релаксации и остаточной фотопроводимости в монокристаллах Ga_2Se_3 были обнаружены авторами работы [22]. В нашем эксперименте какие-либо эффекты, связанные с „долговременной памятью“ под действием рентгеновского излучения, зафиксированы не были. Напряженность электрического поля в образце была около $2.5 \cdot 10^3 V \cdot m^{-1}$, что на два порядка меньше тех граничных значений напряженности, при которых указанные эффекты имели место. Инерционность измерительной системы в нашем эксперименте составляла примерно 0.2 s, поэтому достоверно можно утверждать, что инерционность отклика исследуемых образцов не превышает 0.2 s.

Полученные зависимости позволяют предложить образцы $Ga_2Se_{3.025}$ для использования в качестве рабочего элемента детектора для дози-

метрии рентгеновского излучения в исследованном диапазоне интенсивностей до $5.6 \cdot 10^4$ cps.

Автор благодарит проф. В.М. Кошкина за постановку задачи исследований и поддержку, а также Д.В. Толмачева за помощь при проведении измерений.

Список литературы

- [1] Горюнова Н.А., Григорьева В.С., Коноваленко Б.М., Рывкин С.М. // ЖТФ. 1955. Т. 25. В. 10. С. 1675–1682.
- [2] Гальчинецкий Л.П., Кошкин В.М., Кулаков В.М., Кулик В.Н., Руденко М.И., Рябка П.М., Улманис У.А., Шаховцов В.И., Шиндич В.М. // ФТТ. 1972. Т. 14. В. 2. С. 646–648.
- [3] Koshkin V.M., Gal'chinet'skii L.P., Kulik V.N., Minkov B.G., Ulmanis U.A. // Sol. St. Comm. 1973. V.13. N 1. P. 1–5.
- [4] Кошкин В.М., Гальчинецкий Л.П., Кулик В.Н., Гусев Г.К. // Атомная энергия. 1977. Т. 42. В. 4. С. 290–294.
- [5] Гальчинецкий Л.П., Катрунов К.А., Кошкин В.М., Кулик В.Н. // Атомная энергия. 1981. Т. 50. В. 2. С. 144–145.
- [6] Hahn H., Klingler W. // Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie. 1949. V. 259. N 2. P. 135–142.
- [7] Кошкин В.М., Минков Б.И., Гальчинецкий Л.П., Кулик В.Н. // ФТТ. 1973. Т. 15. В. 1. С. 128–132.
- [8] Koshkin V.M., Dmitriev Yu.N. // Chemistry and Physics of Compounds with Loose Crystal Structure. Ser.: Chemistry Reviews / Ed. M.E. Vol'pin. V. 19/2. Harwood Acad. Publishers, Switzerland, 1994.
- [9] Кошкин В.М. // Физика низких температур. 2002. Т. 28. № 8/9. С. 963–977.
- [10] Безрядин Н.Н., Котов Г.И., Кузубов С.В., Арсеньев И.Н., Тарасов И.С., Стародубцев А.А., Сысоев А.Б. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 10. С. 47–52.
- [11] Ueno K., Kawayam M., Dai Z.R., Koma A., Ohuchi F.S. // J. Cryst. Growth. 1999. V. 207. N 1. P. 69–76.
- [12] Rusu M., Wiesner S., Lindner S., Strub E., Rohrich J., Würz R., Fritsch W., Bohne W., Schedel-Niedrig Th., Lux-Steiner M.Ch., Giesen Ch., Heuken M. // J. Phys.: Cond. Matt. 2003. V. 15. P. 8185–8192.
- [13] Peressi M., Baldereschi A. // J. Appl. Phys. 1998. V. 83. N 6. P. 3092–3095.
- [14] Askerov I.M., Okuducu S. // J. Korean Phys. Soc. 2003. V. 42. N 6. P. 787–790.
- [15] Ishikawa M., Nakayama T. // Phis. Stat. Sol. 2002. V. B229. N 1. P. 301–304.

- [16] *Ishikawa M., Nakayama T.* // Physica E. 2003. V. 17. N 4. P. 185–186.
- [17] *Savchenko K.V., Shchennikov V.V.* // Can. J. Phys. 1994. V. 72. N 9/10. P. 681–682.
- [18] *Takumi M., Koshio Y., Nagata K.* // Phys. Stat. Sol. 1999. V. B211. N 1. P. 123–129.
- [19] *Щенников В.В., Савченко К.В., Попова С.В.* // ФТГ. 2000. Т. 42. В. 6. С. 1004–1008.
- [20] *Савченко К.В.* // Фізика і хімія твердого тіла. 2005. Т. 6. № 3. С. 382–386.
- [21] *Савченко К.В.* // Сб. докл. Междунар. науч. конференции „Актуальные проблемы физики твердого тела ФТГ-2005“. Минск, Белоруссия, Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, 2005. С. 433–434.
- [22] *Абдуллаев Г.Б., Тагиев Б.Г., Нифтиев Г.М., Алиев С.И.* // ФТП. 1982. Т. 16. В. 9. С. 1640–1642.