

Эффект Холла в кристаллах CdTe, легированных Sn из паровой фазы

© В.П. Махний[¶], И.И. Герман, О.А. Парфенюк

Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича,
58012 Черновцы, Украина

(Получена 13 марта 2014 г. Принята к печати 22 апреля 2014 г.)

Исследован эффект Холла в полуизолирующих кристаллах CdTe, легированных примесью Sn из паровой фазы в закрытом объеме. Установлено, что проводимость обусловлена донорным центром с $E_t \approx 0.7$ эВ, а концентрация электронов и их подвижность при 300 К составляют $(4-8) \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$ и $200-300 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ соответственно.

Теллурид кадмия является перспективным материалом для использования в радиационной дозиметрии, инфракрасной фотоэлектронике, лазерной технике, солнечной энергетике и других областях [1]. Разработка и создание приборов на его основе предполагает использование объемных кристаллов или тонких слоев CdTe с определенными оптическими и электрическими свойствами, которые обычно трудно получить в процессе их выращивания. Для решения этой задачи традиционно используют дополнительные технологические операции, среди которых следует видеть диффузию следующих элементов, из паровой фазы [2]. Его отличают простота аппаратуры и управления процессом в реальных временном и геометрическом пространствах, легкость замены легирующей примеси, создание диффузионных областей различных топологии и толщины, а также возможность прогнозирования диффузионных профилей на основе относительно простых математических моделей.

Эта технология была успешно использована для получения полуизолирующего теллурида кадмия, легированного примесью Sn, с высокими временной и температурной стабильностью параметров [3]. Обратим внимание на то, что достаточно высокий коэффициент диффузии Sn позволяет относительно легко получать однородно легированные подложки CdTe:Sn толщиной в несколько миллиметров. И наконец, отметим, что образцы CdTe:Sn имеют близкие значения проводимости σ независимо от параметров исходных кристаллов [4]. При этом энергия активации, определяемая из зависимости $\sigma(T)$, составляет $E_a \approx 0.75 \pm 0.09$ эВ. Вместе с тем остается вопрос о типе проводимости, а также значениях концентрации и подвижности носителей заряда в кристаллах CdTe:Sn. Эту информацию можно получить из измерений эффекта Холла, чему и посвящена настоящая работа.

Для исследований использовались образцы прямоугольной формы с типичным для данного метода расположением токовых и зондовых контактов [5]. Измерения электропроводимости и коэффициента Холла R_H проводились по стандартной методике на постоянном токе в температурном диапазоне 295–430 К. При этом индукция магнитного поля B находилась в пределах

0.4–0.6 Тл, а напряжение V на токовых контактах образца не превышало 10 В. Отметим, что вольт-амперная характеристика объема образца линейна и симметрична вплоть до $V \approx 200$ В. Напряжение на зондовых контактах и последовательном эталонном сопротивлении измерялось электрометрическим усилителем с высоким ($\sim 10^{12}$ Ом) входным сопротивлением. Коэффициент Холла R_H рассчитывался по формуле $R_H = dV_H/IB$, в которую входят толщина образца d в напряжении магнитного поля с индукцией B , холловское напряжение V_H и ток I через образец.

С другой стороны, коэффициент Холла связан с равновесными концентрациями электронов n_0 и дырок p_0 , а также их подвижностями μ_n и μ_p аналитическим выражением, которое для невырожденного полупроводника имеет вид [5]

$$R_H = \frac{A}{e p_0} \frac{p_0 - n_0 b^2}{(p_0 - n_0 b)^2}. \quad (1)$$

Здесь A — постоянная, зависящая от механизма рассеяния носителей заряда, а $b = \mu_n/\mu_p$. Заметим, что знак и абсолютное значение R_H определяют тип и величину проводимости материала, а зависимость $R_H(T)$ позволяет найти энергетическое положение E_t электрически активных центров. Как видно из рис. 1, экспериментальная зависимость $R_H(T)$ в координатах $\lg R_H \rightarrow 10^3/T$ аппроксимируется прямой, определенной из наклона, энергия активации которой равна ~ 0.74 эВ. Здесь же пунктиром изображена зависимость $R_H(T)$, рассчитанная по формуле (1), для CdTe с собственной проводимостью, т. е. когда

$$n_0 = p_0 = n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp(-E_g/kT).$$

Для расчетов использованы следующие значения: $A \approx 1$, $b \approx 12.5$ [6], эффективные массы $m_n^* = 0.11m_0$ и $m_p^* = 0.63m_0$, а также закон изменения $E_g(T) = 1.602 - 4 \cdot 10^{-4}T$ эВ [1]. Отрицательный знак коэффициента Холла и неравенство $|R_H| = |R_H^i|$ в исследуемом температурном интервале указывают на преобладание электронной проводимости, обусловленной донорным центром с $E_t \approx 0.74$ эВ. Подобные уровни с $E_t \approx 0.75$ эВ наблюдали также авторы [7]

[¶] E-mail: ivankager@rambler.ru

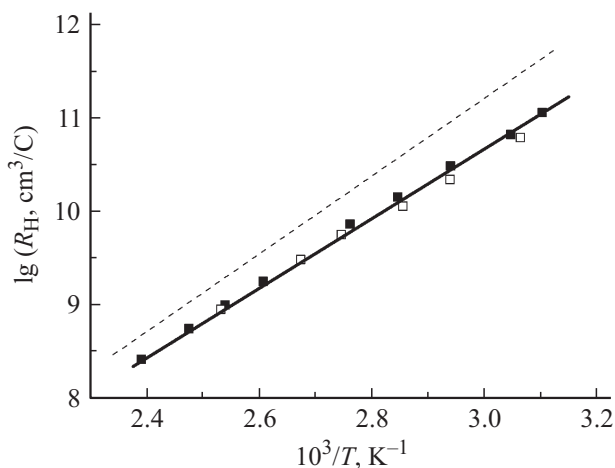


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента Холла образцов CdTe : Sn (сплошная линия — эксперимент, штриховая — зависимость для собственной проводимости).

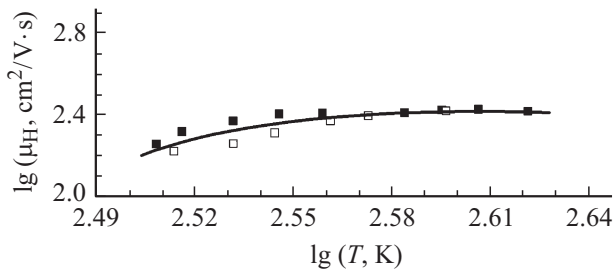


Рис. 2. Температурная зависимость холловской подвижности образцов CdTe : Sn.

в кристаллах CdTe(Sn), легированных Sn в процессе роста, и связывают их с линейными дефектами кристаллической решетки. В более поздней работе [6] предполагалось, что глубокие центры с $E_t \approx 0.75$ эВ обусловлены примесью олова. Не исключается также образование более сложного центра, включающего в себя атом Sn и собственный точечный дефект. Это подтверждается наличием уровня с $E_t \approx 0.75 \pm 0.01$ эВ во всех образцах CdTe : Sn, легированных оловом из паровой фазы подложек CdTe с различными составами собственных и примесных дефектов [4].

Холловская подвижность при 300 К исследуемых образцов CdTe : Sn составляет $200\text{--}300$ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, что существенно меньше значений $\mu_H \approx 500\text{--}850$ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, наблюдаемых в кристаллах CdTe(Sn) [8]. Одной из причин может быть различная концентрация примеси Sn в теллуриде кадмия, увеличение которой вызывает уменьшение подвижности [9]. Второй причиной является смешанный характер проводимости, который обычно проявляется в полупроводниках с концентрацией носителей, близкой к собственной. Это условие выполняется и в нашем случае, поскольку концентрация свободных электронов при 300 К составляет $(4\text{--}8) \cdot 10^6$ cm^{-3} и всего в 2–3 раза превышает собственную концентрацию. Смешанный характер проводимости также подтвержда-

ется температурной зависимостью холловской проводимости (рис. 2).

В заключение отметим близость экспериментальных значений R_H и μ_H , полученных при нагревании (темные точки) и охлаждении (светлые точки) образцов при проведении измерений. Это свидетельствует о неплохой стабильности параметров кристаллов CdTe : Sn в исследуемом температурном диапазоне. Кроме того, симметрия тока и магнитного поля, а также отсутствие при этом релаксационных процессов свидетельствуют о высокой электрической однородности исследуемых образцов CdTe : Sn.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о перспективности диффузии олова из паровой фазы для получения полуизолирующего теллурида кадмия при использовании подложек этого материала с различными ансамблями точечных дефектов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск технологических режимов для достижения максимальных значений удельного сопротивления и подвижности носителей заряда для каждого конкретного типа используемых базовых подложек.

Список литературы

- [1] *Properties of Narrow Gap Cadmium-based Compounds* (INSPEC, IEE, London, 1954).
- [2] З.Ю. Готра. *Технология микроэлектронных устройств*. Справочник (М., Радио и связь, 1991).
- [3] В.П. Махний, Н.В. Демич. Патент Украины № 62650А. Промышленная собственность. Официальный бюллетень, №12 (2003).
- [4] В.П. Махний. *ЖТФ*, **75**, 122 (2005).
- [5] П.С. Киреев. *Физика полупроводников* (М. Высш. шк., 1969).
- [6] П.Н. Горлей, О.А. Парфенюк, М.И. Илашук, И.В. Николаевич. Неорг. матер., **41**(12), 1436 (2005).
- [7] В.В. Матлак, М.И. Илашук, О.А. Парфенюк, П.А. Павлин, А.В. Савицкий. *ФТП*, **11**(12), 2287 (1977).
- [8] O. Panchuk, A. Savitskiy, P. Fochuk, Ye. Nykonyuk, O. Parfenyuk, L. Shcherbak, M. Ilyashchuk, L. Yatsunyuk, P. Feychuk. *J. Cryst. Growth*, **197**, 607 (1999).
- [9] О.А. Парфенюк, А.В. Савицкий, П.А. Павлин, А.Л. Альбота. *Изв. вузов. Физика*, **4**, 66 (1986).

Редактор Т.А. Полянская

Hall effect in crystals CdTe, doped with Sn

V.P. Makhniy, I.I. German, O.A. Parfenyuk

Yuri Fedkovych Chernivtsi National University,
58012 Chernivtsi, Ukraine

Abstract The Hall effect in semi-insulating crystals CdTe, doped Sn vapor in a closed volume was investigated. Found that the conductivity is due to the donor center with energy $E_t \approx 0.74$ eV. Obtained electron concentration and mobility at 300 K are equal $(4\text{--}8) \cdot 10^6$ cm^{-3} , and $200\text{--}300$ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$.