

05
Гетероструктура SmS/SiC и термовольтаический эффект в ней

© В.В. Каминский,¹ А.О. Лебедев,^{1,2} С.М. Соловьев,¹ Н.В. Шаренкова¹

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
 194021 Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ им. В.И. Ульянова (Ленина),
 197376 Санкт-Петербург, Россия
 e-mail: Vladimir.Kaminski@mail.ioffe.ru

(Поступило в Редакцию 31 мая 2018 г.)

Изготовлена гетероструктура на основе монокристаллического SiC и поликристаллической тонкой пленки SmS. В температурном интервале от 300 до 456 К измерен термовольтаический эффект в структуре, максимальная величина которого достигала ~ 12 мВ при T = 456 К. Показано, что величина эффекта соответствует разработанной ранее его концентрационной модели.

DOI: 10.21883/JTF.2019.02.47072.225-18

Термовольтаический эффект обнаружен в настоящее время не только в SmS [1], но и в некоторых других полупроводниках, например, в структурах pSi-n(Si₂)_{1-x}(ZnS)_x [2], в сэндвич-структурах ZnO/ZnOMe (Me = Cu, Fe) [3]. Исходя из описанного в [4] концентрационного механизма возникновения термовольтаического эффекта, следует, что его наличие можно ожидать в самых разнообразных полупроводниках и полупроводниковых структурах. В настоящей работе была предпринята попытка обнаружения этого эффекта в двухслойной гетероструктуре на основе карбида кремния SmS/SiC.

Монокристаллическая подложка из карбида кремния политипа 4H с ориентацией (0001) и размером 15 × 15 × 0.35 mm была изготовлена из слитка SiC, выращенного модифицированным методом Лели (метод ЛЭТИ) при температуре 2200°C. Легирование донорной примесью производили непосредственно в процессе роста из газовой фазы при добавлении фиксированного количества азота в нейтральную газовую среду (аргон).

Характерный размер областей когерентного рассеяния рентгеновского излучения (ОКР) в направлении (0001) SiC составлял около 2000 Å. Концентрация электронов проводимости при T = 300 К составляла по оценкам около 3 · 10¹⁸ см⁻³. На поверхность этого монокристалла методом взрывного испарения в вакууме при температуре 500°C была нанесена тонкая поликристаллическая пленка сульфида самария толщиной на различных участках от 0.3 до 0.33 μm. Величина параметра кристаллической решетки SmS составляла 5.92 Å, величина ОКР (область когерентного рассеяния) около 90 Å.

Схема измерения термовольтаического эффекта представлена на рис. 1. На нагревателе резистивного типа I располагалась медная пластина 2, на которой лежала исследуемая структура таким образом, что монокристаллический слой SiC 4 соприкасался с медной пластиной и был с ней в хорошем электрическом контакте через металлический жидкий слой InGa 3. Токывыводящие

контакты 6 располагались на пластинке 2 и слое SmS 5. Выходной сигнал подавался на мультиметр RIGOL DM3061, передавался в ЭВМ посредством соединения RS232 и выводился на экран монитора программой LabVIEW. Результаты измерения приведены на рис. 2. Максимальный сигнал ~ 12 мВ наблюдается при температуре 456 К. При выдержке при постоянном значении T ~ 453 К сигнал стремился к постоянному значению ~ 10 мВ.

Величина электрического напряжения, которая может быть получена в исследуемой структуре за счет термовольтаического эффекта, была оценена на основании полученного нами ранее соотношения, связывающего величину выходного сигнала U с температурой генерации T и параметрами образца [5,6]:

$$U = \frac{k(T - T_0)}{e} \ln n_2/n_1, \tag{1}$$

где T₀ — начальная температура, n₁ и n₂ — концентрации электронов проводимости в областях образца вблизи токывыводящих контактов при температуре T. Прямое измерение концентрации носителей заряда с помощью эффекта Холла в данном случае не представляется возможным. Обычная концентрация элект-

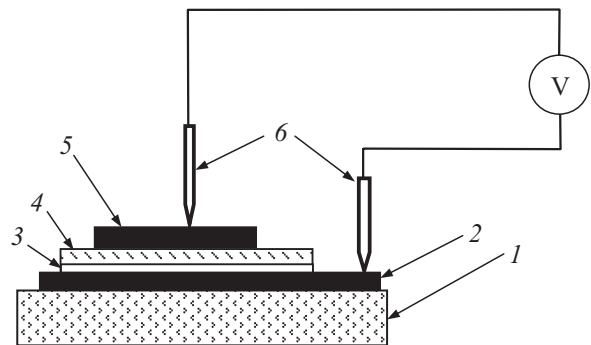


Рис. 1. Схема эксперимента: I — нагреватель, 2 — медная пластина, 3 — слой InGa, 4 — кристалл SiC, 5 — пленка SmS, 6 — прижимные токывыводы, V — вольтметр RIGOL DM3061.

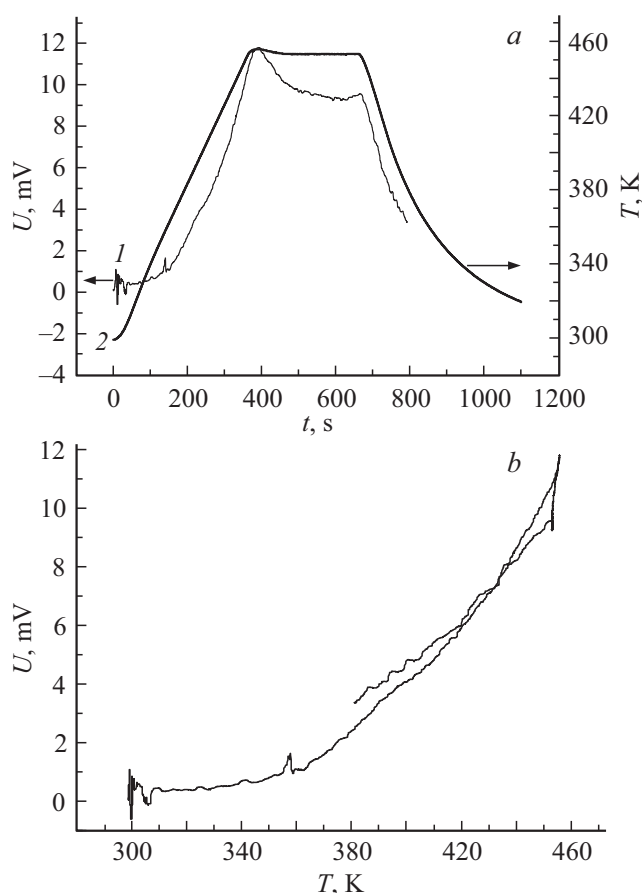


Рис. 2. Электрическое напряжение, генерируемое гетероструктурой SmS/SiC; *a* — зависимости выходного сигнала (1) и температуры (2) от времени; *b* — температурная зависимость выходного сигнала термовольтаического эффекта.

тронов проводимости в тонких поликристаллических полупроводниковых пленках SmS лежит в интервале $10^{19}–10^{20} \text{ cm}^{-3}$ [7]. Поскольку в нашем случае тонкий слой SmS сформирован на полупроводниковом материале, можно предположить наличие диффузии избыточных ионов Sm в SiC, так как структура подвергалась нагреву до 500°C в течение получаса при ее изготовлении. Поэтому для оценки величины U имеет смысл взять значение 10^{19} cm^{-3} . Тогда из формулы (1) при $T = 456 \text{ K}$ мы получаем значение выходного сигнала 16 mV. Оно находится в удовлетворительном соответствии с экспериментальным результатом, что свидетельствует в пользу того, что мы имеем дело с термовольтаическим эффектом, а не с эффектом Зеебека. Помимо этого, можно утверждать, что эффект Зеебека не мог бы дать величину сигнала 12 mV, так как для этого необходимо создать на толщине образца 0.35 mm слишком большую разницу температур 75 K (величина термоЭДС SiC при $n \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ составляет $160 \mu\text{V/K}$ [8]).

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что нами обнаружен термовольтаический эффект в полупроводниковой гетероструктуре

SmS/SiC. Величина генерируемого напряжения существенно превышает значения, полученные в [2] и [3], но меньше, чем полученная для гетероструктуры SmS/EuS (55 mV) [9].

Список литературы

- [1] Каминский В.В., Соловьев С.М. // ФТТ. 2001. Т. 43. Вып. 3. С. 423–426. [Kaminskii V.V., Solov'ev S.M. // Phys. Solid State. 2001. Vol. 43. N 3. P. 439–442.]
- [2] Саидов М.С., Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Камонов К.А. // Гелиотехника. 2009. № 4. С. 102–104. [Saidov M.S., Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Amonov K.A. // Appl. Sol. Energy. 2009. Vol. 45. N 4. P. 285–286.]
- [3] Пронин И.А., Аверин И.А., Баженова А.С. и др. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. Вып. 19. С. 23–29. [Pronin I.A., Averin I.A., Bozhinova A.S. et al. // Tech. Phys. Lett. 2015. Vol. 41. N 10. P. 930–932.]
- [4] Каминский В.В. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 15. С. 12–17. [Kaminskii V.V. // Tech. Phys. Lett. 2013. Vol. 39. N 8. P. 673–675.]
- [5] Улашкевич Ю.В., Каминский В.В., Казанин М.М. // ФТТ. 2012. Т. 54. Вып. 11. С. 2066–2067. [Ulashkevich Yu.V., Kaminskii V.V., Kazanin M.M. // Phys. Solid State. 2012. Vol. 54. N 11. P. 2198–2200.]
- [6] Каминский В.В., Степанов Н.Н., Соловьев С.М. // Физика и техника высоких давлений (ФТВД). 2015. Т. 25. № 3–4. С. 74–81.
- [7] Погарев С.В., Куликова И.И., Гончарова Е.В. и др. // ФТТ. 1981. Т. 23. Вып. 2. С. 434–439. [Pogarev S.V., Kulikov I.I., Goncharova E.V. et al. // Phys. Solid State. 1981. Vol. 23. N 2.]
- [8] Смирнов И.А., Смирнов Б.И., Мохов Е.Н. и др. // ФТТ. 2008. Т. 50. Вып. 8. С. 1355–1358. [Smirnov I.A., Smirnov B.I., Mokhov E.N. et al. // Phys. Solid State. 2008. Vol. 50. N 8. P. 1407–141.]
- [9] Каминский В.В., Казанин М.М., Романова М.В. и др. // ФТП. 2016. Т. 50. Вып. 9. С. 1163–1166. [Kaminskii V.V., Kazanin M.M., Romanova M.V., Kamenskaya G.A., Sharenkova N.V. // Semiconductors. 2016. Vol. 50. N 9. P. 1141–1144.]