

07

Термовольтаический эффект в варизонном твердом растворе $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$)

© А.С. Саидов, А.Ю. Лейдерман, А.Б. Каршиев

Физико-технический институт НПО „Физика-Солнце“ АН РУз, Ташкент,
Узбекистан

E-mail: amin@uzsci.net

Поступило в Редакцию 1 марта 2016 г.

Впервые наблюдался термовольтаический эффект в варизонном непрерывном твердом растворе $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$). Образцы представляли собой гетероструктуры вида $n\text{-Si}-p\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$), полученные методом жидкофазной эпитаксии. В диапазоне $40\text{--}250^\circ\text{C}$ возникала ЭДС $0.05\text{--}0.3\text{ mV}$ и ток $0.0025\text{--}0.0035\text{ }\mu\text{A}$.

За последнее десятилетие одним из интереснейших новых эффектов был эффект возникновения ЭДС при однородном нагреве материалов на основе моносulfида самария SmS [1–5]. В самое последнее время появилась работа [6], в которой сообщается о наблюдении подобного же эффекта возникновения термоЭДС при однородном нагревании оксида цинка ZnO, неоднородно легированного примесями с переменной валентностью. Сходные эффекты для совершенно других материалов в последние годы наблюдались в ФТИ АН РУз. В работах [7–9] сообщалось о возникновении ЭДС и тока при однородном нагреве образцов с простыми омическими контактами, изготовленных из поликристаллического кремния полученного многократной переплавкой технического кремния на открытом воздухе в солнечной печи. Подобный же эффект, т. е. возникновение ЭДС и тока при однородном нагревании образцов с простыми омическими контактами, изготовленных из полупроводников группы $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, обладающих n -типом проводимости и выращенных по методу Чохральского, описан в [10,11].

Как справедливо отмечают авторы [6], это явление представляется весьма интересным для развития таких областей технической физики, как сенсорика и разработка мемристоров.

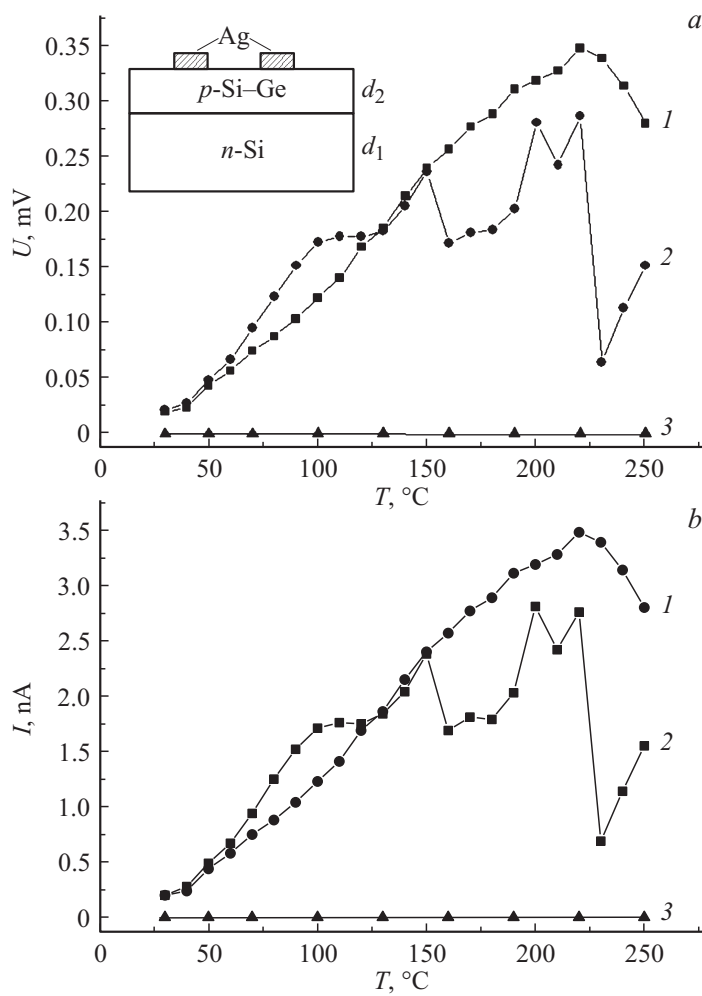


Рис. 1. Температурная зависимость напряжения (а) и тока (b), возникающих в варизонных пленках $p\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) с простыми омическими контактами, изготовленных на подложке из $n\text{-Si}$ с ориентацией $\langle 111 \rangle$ (кривая 1) и на подложке из $n\text{-Si}$ с ориентацией $\langle 100 \rangle$ (кривая 2). Температурная зависимость стандартного монокристаллического кремния (кривая 3). На вставке (а) схема исследуемых образцов.

Цель данной работы — изложение результатов наблюдения термовольтаического эффекта в пленке варизонного твердого раствора $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$).

Варизонный твердый раствор $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) выращивался из ограниченного объема раствора-расплава Sn–Si–Ge методом жидкофазной эпитаксии на кремниевых подложках n -типа проводимости с ориентацией $\langle 111 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$ в температурном диапазоне 1000–750°C. Из полученных материалов были изготовлены образцы с размерами: длина — 8 mm; толщина — 5 mm. Пленки твердого раствора, выращенные на подложках с ориентацией $\langle 111 \rangle$, имели монокристаллический характер. Пленки твердого раствора, выращенные на подложках с ориентацией $\langle 100 \rangle$, имели поликристаллический характер. После этого к полученным структурам напылением серебра изготавливались омические контакты. На каждую пленку твердого раствора наносилось 2 контакта площадью $2 \times 1 \text{ mm}^2$. Схема исследуемых образцов показана на вставке на рис. 1, *a*. Толщина подложки $d_1 = 400 \mu\text{m}$, а толщина варизонной пленки $d_2 = 90 \mu\text{m}$. Полученные образцы подвергались однородному нагреву в вакууме.

Проведенные исследования показали, что даже при небольшом увеличении температуры в этих образцах генерируются токи и напряжения, которые фиксируются аппаратурой, подключаемой между двумя омическими контактами, расположенными на поверхности варизонных твердых растворов. Результаты измерений показаны на рис. 1, *a* и *b*.

Как видно из рис. 1, *a* и *b*, варизонные пленки $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) генерируют ЭДС и ток, независимо от того, выращены они на подложке Si с ориентацией $\langle 111 \rangle$ или $\langle 100 \rangle$, но эффект сильнее на подложках, выращенных на кремнии с ориентацией $\langle 111 \rangle$.

Для того чтобы убедиться, что за данный эффект ответственны только варизонные пленки $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, были проведены измерения их вольт-амперных характеристик в этом же температурном диапазоне. Они показаны на рис. 2, из которого ясно видно, что для обоих типов пленки ВАХ имеет омический характер и практически не меняется в исследуемом диапазоне температур.

Варизонные полупроводники — это полупроводники с переменной шириной запрещенной зоны, т.е. с ее зависимостью от толщины образца $E_g(x)$. Структуры на основе таких полупроводников стали предметом изучения еще в 80-е годы прошлого века. В первую очередь,

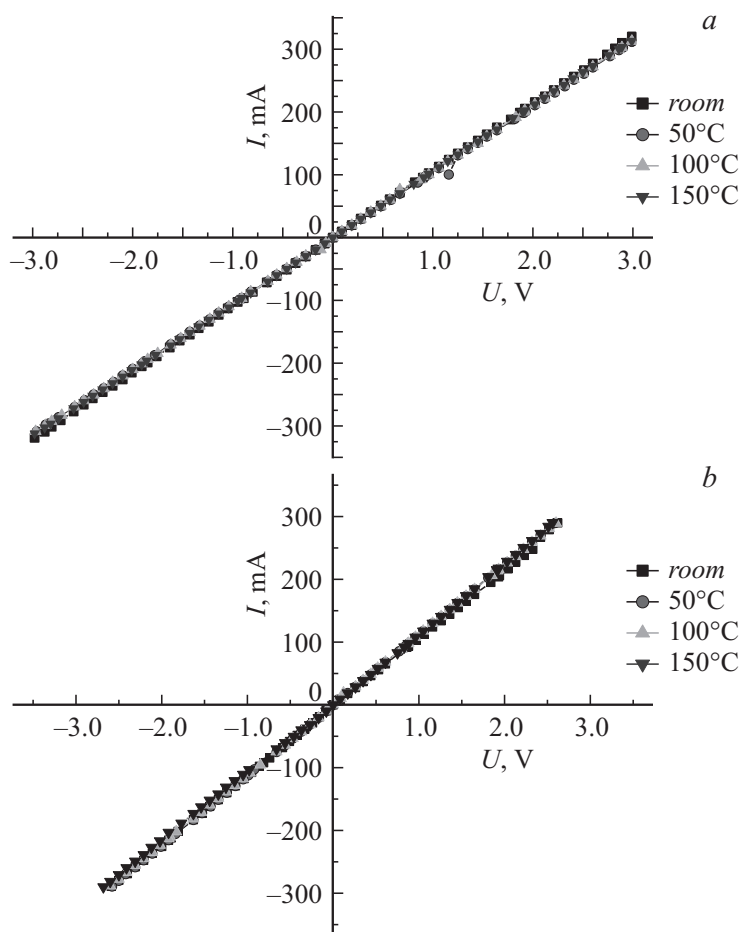


Рис. 2. ВАХ варизонных пленок $p\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, изготовленных на кремниевых подложках с ориентацией $\langle 111 \rangle$ (a) и $\langle 100 \rangle$ (b).

это работы, выполненные в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН под руководством Ж.И. Алфёрова, на основе гетеропереходов GaAs–AlGaAs [12]. Используемый в данной работе метод жидкофазной эпитаксии

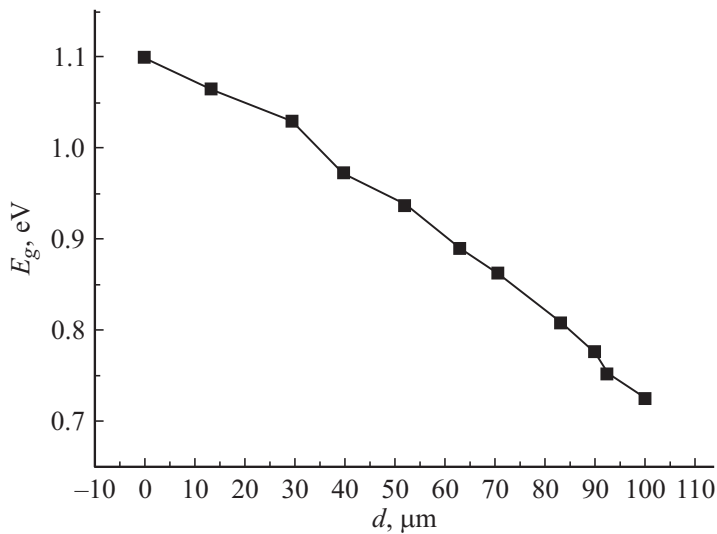


Рис. 3. Зависимость ширины запрещенной зоны варизонного непрерывного твердого раствора $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 1$), полученная измерением фотолюминесценции.

позволяет получать материалы с переменной концентрацией второго компонента и соответственно с переменной шириной запрещенной зоны в широком диапазоне. В частности, этот метод позволил нам получить непрерывный твердый раствор $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, в котором содержание германия меняется от $x = 0$ (т.е. чистый кремний) до $x = 1$ (т.е. чистый германий). Соответственно ширина запрещенной зоны $E_g(x)$ также будет иметь сильную зависимость от толщины образца. Результаты измерений $E_g(x)$ для такого твердого раствора, полученные измерением фотолюминесценцией по сколу образца, представлены на рис. 3.

Из этого рисунка видно, что в исследуемых пленках (толщина которых $\sim 90 \mu\text{m}$) ширина запрещенной зоны меняется очень сильно, начиная с кремния ($E_g \approx 1.12 \text{ eV}$) и заканчивая германием ($E_g \approx 0.74 \text{ eV}$). Очевидно, что при этом исходная равновесная концентрация может меняться на несколько порядков. Компьютерная обработка полученной кривой показывает, что зависимость $E_g(x)$ не линейная, она хорошо

аппроксимируется закономерностью вида

$$E = E_0 - Ae^{R_0x}, \quad (1)$$

где $E_0 = 1.479$ eV, $A = 0.377$ eV, $R_0 = 0.007$.

Таким образом, в исследуемой пленке $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$), так же как и в работах [1–5], наблюдается термовольтаический эффект, т.е. при однородном нагревании образца с омическими контактами возникают термоЭДС и ток. Понимание природы этого явления, безусловно, требует дальнейших исследований. Но сходство полученных результатов с результатами [1–5] заставляет предположить, что в технологическом процессе выращивания пленки твердого раствора $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) возникает небольшой градиент примесных акцепторных центров, что делает ее в какой-то степени сходной с образцами сульфида самария SmS с областью избыточного самария до состава $\text{Sm}_{1.04}\text{S}$. Конечно, эти модельные представления основываются только на аналогии и нуждаются в дальнейшей детальной разработке.

Работа выполнена по гранту фундаментальных исследований Ф2-ФА-0-97004 АН РУз.

Список литературы

- [1] Казанин М.М., Каминский В.В., Соловьев С.М. // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 5. С. 136–138.
- [2] Каминский В.В., Соловьев С.М. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 3. С. 423–426.
- [3] Каминский В.В., Казанин М.М. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 8. С. 92–94.
- [4] Егоров В.М., Каминский В.В., Казанин М.М., Соловьев С.М., Голубков А.В. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 14. С. 57–61.
- [5] Егоров В.М., Каминский В.В., Казанин М.М., Соловьев С.М., Голубков А.В. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. В. 8. С. 50–54.
- [6] Пронин И.А., Аверин И.А., Божинова А.С., Георгиева А.Ц., Димитров Д.Ц., Карманов А.А., Мошников В.А., Папазова К.И., Теруков Е.И., Якушова Н.Д. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. В. 19. С. 23–29.
- [7] Саидов А.С. // Альтернативная энергетика и экология (Int. J. Altern. Energy Ecol.). 2010. В. 3 (83). С. 22–25.
- [8] Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Манишуров Ш.Т. // Альтернативная энергетика и экология (Int. Sci. J. Altern. Energy Ecol.) 2011. В. 5 (97). С. 27–33.

- [9] Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Аюханов Р.А., Манисуров Ш.Т., Абакумов А.А. // Альтернативная энергетика и экология (Int. Sci. J. Altern. Energy Ecol.). 2012. В. 4 (108). С. 42–47.
- [10] Leyderman A., Saidov A., Khashaev M., Rahmonov U. // J. Mater. Sci. Res. 2013. V. 2. N 2. P. 14–21.
- [11] Лейдерман А.Ю., Саидов А.С., Хашаев М.М., Рахмонов У.Х. // Альтернативная энергетика и экология (Int. Sci. J. Altern. Energy Ecol.). 2015. В. 7 (171). С. 55–69.
- [12] Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Корольков В.И., Третьяков Д.И., Тучкевич В.М. // ФТП. 1967. Т. 1. В. 10. С. 1579–1581.