

Экстраполированное к нулевой температуре критическое магнитное поле для исследованной пленки составляет  $H_{c2}(0) \approx 2$  Т. Отметим, что подобное высокое значение критического магнитного поля характерно для объемной сверхпроводимости в полупроводниках  $A^{IV}B^{VI}$  с примесями элементов III группы [3].

Используя данные по сверхпроводимости и явлениям переноса, как и в работах [3, 4], можно оценить плотность состояний в нормальном состоянии на уровне Ферми  $N(0)$ . Несмотря на грубость этих оценок, оказывается, что величина  $N(0)$ , определенная из параметров перехода в сверхпроводящее состояние, значительно превосходит плотность состояний, оцененную из термоэда и концентрации дырок в параболической модели. Этот результат согласуется с данными для других материалов  $A^{IV}B^{VI}$  с примесями элементов III группы, в частности, с данными для  $PbTe(Tl)$  [4], и свидетельствует о наличии примесных резонансных состояний на фоне разрешенного спектра (в данном случае примесных состояний индия на фоне валентной зоны  $Sn_{0.8}Ge_{0.2}Te$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. Н. Жерихин. В кн.: Современные проблемы лазерной физики. Т. 1, 197. М. (1990).
- [2] А. В. Березин, М. К. Житинская, С. А. Немов, Р. В. Парфеньев, Д. В. Шамшур. ФТТ, 34, 1216 (1992).
- [3] R. V. Parfeniev, I. A. Drabkin, D. V. Mashovets, V. I. Kaidanov, S. A. Nemov, D. V. Shamshur. In: New. physikal problems in electronic materials. Singapore—New Jersey—London—Hong Kong, 238 (1991).
- [4] В. И. Кайданов, С. А. Немов, Р. В. Парфеньев, Д. В. Шамшур. Письма ЖЭТФ, 35, 517 (1982).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 27, вып. 3, 1993

### ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ КОМПЕНСИРОВАННОГО КРЕМНИЯ ПРИ ВСЕСТОРОННЕМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ

А. Абдураимов, С. З. Зайнабидинов, О. О. Маматкаримов,  
И. Г. Турсунов, О. Химматкулов

Ташкентский государственный университет им. В. И. Ленина, 700095, Ташкент, Узбекистан  
(Получено 12.05.1992. Принято к печати 27.07.1992)

Авторами [1, 2] было показано, что в образцах  $Si(Mn)$  тензочувствительность физических параметров эффектов фотопроводимости (ФП), остаточной ФП и температурно-электрической неустойчивости (ТЭН) намного превосходит тензочувствительность исходных параметров образцов (удельное сопротивление, концентрация и подвижность носителей тока). Но эти исследования относятся к области анизотропного давления, в то время как на практике часто реализуются условия измерения изотропных давлений (газов, жидкостей и др.). В настоящее время измерение изотропных давлений производится косвенными путями, т. е. тензопреобразователями мембранного типа с полупроводниковыми элементами чувствительного к ориентированной деформации сжатия или растяжения [3, 4]. Сложность конструкции ограничивает минимальность размеров тензодатчиков, от которых зависит уровень вносимых собственных помех. Поэтому исследования тензосвойств полупроводников и увеличение их тензочувствительности при изотропных давлениях являются актуальными.

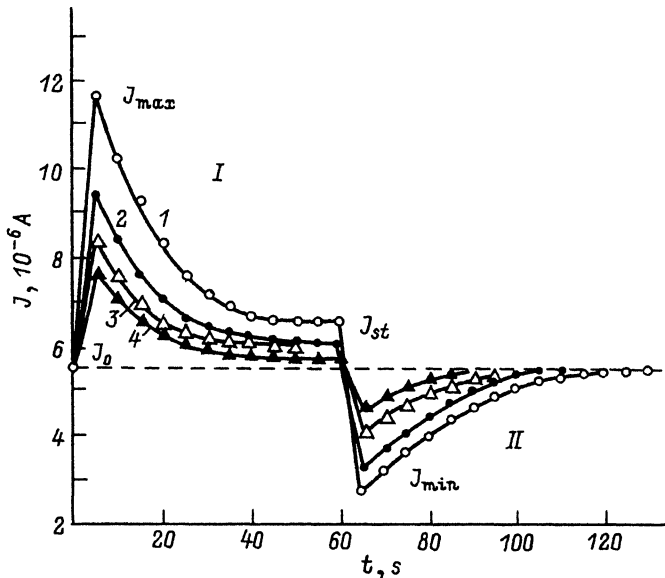


Рис. 1. Кинетические зависимости тока  $I=f(t)$  в сильнокомпенсированных образцах  $p$ -Si(Mn) (1, 3) и  $n$ -Si(Ni) (2, 4) при воздействии импульса (I) и после снятия (II) всестороннего гидростатического сжатия со скоростью  $\partial P/\partial t = 10^8$  Па/с при  $T_0 = 293$  К (1, 2 —  $P = 5 \cdot 10^8$  Па; 3, 4 —  $P = 2.5 \cdot 10^8$  Па).

Данная работа посвящена исследованиям динамической проводимости и тензочувствительности в сильнокомпенсированных образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) при импульсных режимах воздействия всестороннего гидростатического сжатия (ВГС) в диапазоне давлений  $P = 0 \div 5 \cdot 10^8$  Па и при температурах  $T = 293$  и  $273$  К. Сильнокомпенсированные образцы  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) были получены согласно [5] на основе исходного  $p$ -Si (В) и  $n$ -Si (Р) с  $\rho = 4$  и  $20$  Ом·см соответственно. Исследования тензoeffекта в образцах проводились с помощью специально созданной нами установки ВГС с пневмоусилителем, аналогичной [6].

На рис. 1 приведены кинетические зависимости изменений тока  $I=f(t)$  в сильнокомпенсированных образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) при  $T_0 = 293$  после импульса воздействия и снятия давления со скоростью  $\partial P/\partial t = 10^8$  Па/с (соответственно участки I и II). Видно, что в процессе импульса величины приложенного давления  $P=f(t)$  значения тока в образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) начинают возрастать и при достижении давления своего амплитудного значения  $P = 5 \cdot 10^8$  Па они увеличиваются до своих максимальных значений  $I_{\max}$  (кривые 1, 2, участок I). Далее, с течением времени тока в образцах экспоненциально релаксируют до своих статических значений  $I_{st}(P)$ . В процессе снятия давления в изменениях тока наблюдается аналогичная картина, но в этом случае значения тока убывают до некоторых своих минимумов  $I_{\min}$ , а далее, релаксируя, восстанавливают свои (до давления) значения  $I_0$ . При меньших амплитудах импульса действующего давления ( $P = 2.5 \cdot 10^8$  Па) изменение тока  $I=f(t)$  в образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) происходит с меньшей амплитудой (кривые 3, 4 соответственно).

Аналогичные измерения в образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) при  $T = 273$  К показали, что изменения тока  $I=f(t)$  имеют одинаковый характер, но их амплитуда ( $I_{\max}, I_{\min}$ ) возрастает на  $10 \div 15\%$ .

Анализ данных эксперимента показал, что динамические изменения тока при ВГС связаны с изменением температуры образцов, т. е. в процессе сжатия (импульса давления) температура в образцах повышается почти на  $7 \div 10$  К в зависимости от скорости изменения и амплитуды давления. А при снятии дав-

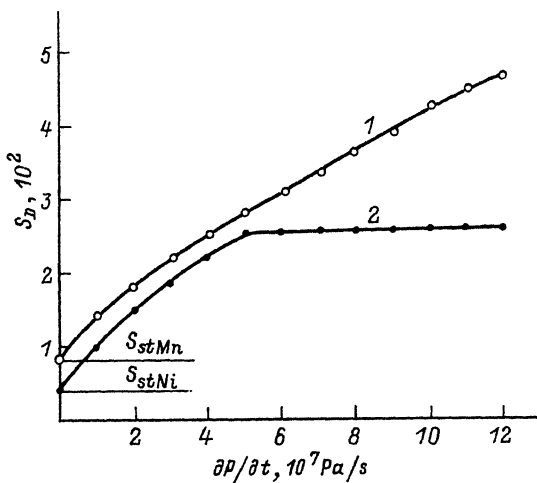


Рис. 2. Зависимости коэффициентов максимальной динамической тензочувствительности  $S_D$  от скорости изменения давления ( $dP/dt$ ) в сильнокомпенсированных образцах  $p$ -Si(Mn) (1),  $n$ -Si(Ni) (2) при ВГС с амплитудой давления  $P = 5 \cdot 10^8$  Па и  $T_0 = 293$  К.

ления, наоборот, температура в образцах понижается. Исследования эффекта Холла при этих условиях эксперимента показали, что наблюдаемые изменения тока в образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) в основном обусловлены изменениями концентрации основных носителей тока, так как изменения их подвижности оказались незначительными. В связи с этим коэффициент динамической тензочувствительности  $S_D$  в данных образцах можно представить в виде [3]

$$S_D = [E/\Delta P(t)] \{ \Delta I [P, T(P)] / I_0(T_0) \} = [E/\Delta P(t)] \{ \Delta n [P, T(P)] / n_0(T_0) \} \quad (1)$$

или, учитывая, что

$$\Delta H [P, T(P)] = n [P, T(P)] - n_0(T_0) = n_0' \{ \exp [-(E_i - \alpha_i P)/kT] - \exp (-E_i/kT) \},$$

в виде

$$S_D = [E/\Delta P(t)] \exp \{ -E_i/k [1/T(P) - 1/T_0] + \alpha_i P/kT(P) \}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль Юнга для Si,  $\Delta P(t)$  — изменение величины приложенного давления при ВГС,  $I [P, T(P)]$ ,  $n [P, T(P)]$ ,  $I$  и  $n_0$  — динамические и начальные значения тока и концентрации носителей тока при  $P \neq 0$  и  $P = 0$  соответственно,  $T(P)$  и  $T_0$  — динамическое ( $P \neq 0$ ) и начальное ( $P = 0$ ) значения температур в полупроводниках,  $E_i$  и  $\alpha_i$  — энергия глубины залегания примесного уровня и барический коэффициент ее изменения соответственно. Значения энергии  $E_i$  и барических коэффициентов  $\alpha_i$  в образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) можно определить согласно (2) и из экспериментальных результатов температурной релаксации тока (рис. 1, кривые 1, 2). Определенные значения  $E_{Mn}$ ,  $E_{Ni}$ ,  $\alpha_{Mn}$  и  $\alpha_{Ni}$  соответственно составили 0.54, 0.43 эВ,  $0.9 \cdot 10^{-11}$  и  $0.7 \cdot 10^{-11}$  эВ/Па.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости в образцах  $p$ -Si (Mn) и  $n$ -Si (Ni) коэффициентов динамической тензочувствительности  $S_D$ , рассчитанные согласно формулам (1), (2) по максимумам  $I_{max}$  изменения токов  $I = f(t)$  от скорости изменения давления  $dP/dt$  с амплитудой  $P = 5 \cdot 10^8$  Па при  $T_0 = 293$  К.

Видно, что в  $p$ -Si (Mn) значение коэффициента динамической тензочувствительности монотонно возрастает с ростом скорости изменения давления (кривая 1) и при скорости  $\partial P/\partial t = 10^8$  Па/с значение коэффициента  $S_D$  становится в 5—6 раз больше статического коэффициента  $S_{st}$ . В процессе снятия давления значения их коэффициентов  $S_D$  тоже превышают статические. В образцах  $n$ -Si (Ni) отношение  $S_D/S_{st}$  также возрастает в 5—6 раз, но в зависимостях  $S_D = f(\partial P/\partial t)$  наблюдается плато (кривая 2), которое, возможно, связано с полной ионизацией примесных уровней Ni.

Таким образом, из приведенных экспериментальных результатов видно, что динамическая тензочувствительность при ВГС в компенсированных образцах Si (Mn) и Si (Ni) значительно возрастает из-за проявления термоэффекта, стимулированного давлением. Увеличение динамической тензочувствительности в образцах Si (Mn) и Si (Ni) с понижением температуры ( $T_0$ ) рабочей области, видимо, связано с уменьшением исходной концентрации носителей тока, так как при этом увеличивается эффективность вклада в изменения проводимости избыточных носителей тока генерируемых при ВГС. Результаты и метод данных исследований позволяют создать простые по своей конструкции тензопреобразователи изменения изотропных давлений, а также определить значения энергии ионизации, барических коэффициентов и других параметров глубоких уровней в полупроводниках.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] М. К. Бахадырханов, А. Абдураимов, Х. Ф. Зикриллаев, Х. М. Илиев, А. А. Турсунов, А. Хамидо. Преобразователь механических величин. А. С. № 1436624 (1988).
- [2] А. Абдураимов. Канд. дис. Кишинев (1990).
- [3] А. Л. Полякова. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов, 169. М. (1979).
- [4] В. И. Ваганов. Интегральные тензопреобразователи, 137. М. (1983).
- [5] Б. И. Болтакс, М. К. Бахадырханов, С. М. Городецкий, Г. С. Куликов. Компенсированный кремний, 121. Л. (1972).
- [6] М. К. Бахадырханов, А. Абдураимов, Х. М. Илиев. ФТП, 22, 123 (1988).

Редактор В. В. Чалдышев

ФТП, том 27, вып. 3, 1993

### ПОЧЕМУ ПОСТОЯННА ПОДВИЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ В HgSe : Fe ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ?

И. Г. Кулеев, Н. К. Леринман, И. И. Ляпилин,  
Л. Д. Сабирзянова, И. М. Цидильковский

Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук,  
620219, Екатеринбург, Россия  
(Получено 22.07.1992. Принято к печати 27.07.1992)

У бесщелевых кристаллов HgSe, легированных железом, обнаружен ряд необычных электронных свойств [1, 2]. Так, например, у образцов с концентрациями электронов  $n \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$  их подвижность  $\mu$  при понижении температуры от  $\sim 100$  К до 4.2 К монотонно возрастает, тогда как, согласно теории Брукса—Херринга, для рассеяния электронов на хаотической совокупности ионов примеси подвижность при таких концентрациях  $n$ , когда электронный газ вырожден, не должна зависеть от температуры при  $T < 50$  К. Эта и другие осо-