

шения  $\varphi_{mi}$  и  $\varphi_{si}$ , сильно различающихся между собой. В упрощенном варианте при  $\varphi_{mi} = \varphi_{si}$  из (1) получается соотношение [3]

$$M - 1 \approx \frac{\mathcal{P}_n}{\mathcal{P}_p} \frac{q^2 d^2 N_c}{kT} \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_i^2} \quad (3)$$

для структуры на  $n$ -Si и аналогичное соотношение для диодов на  $p$ -Si. Оценка по (3) при  $\mathcal{P}_n = \mathcal{P}_p$  дает  $M \approx 100$ , что примерно соответствует экспериментальным данным для структур на  $n$ -Si. Однако для диодов на  $p$ -Si получается  $M \sim 10-15$ . Поскольку  $\mathcal{P}_n \sim \exp(-b_n \varphi_i^{1/2} d)$  и  $\mathcal{P}_p \sim \exp(-b_p \varphi_p^{1/2} d)$ , можно предположить, что в диодах на  $p$ -Si высота барьера для основных носителей, т. е. дырок, выше, чем для электронов в диодах на  $n$ -Si. Из зависимости  $C^{-2} = f(V)$  также следует большая высота барьера в структурах на  $p$ -Si, равная 0.8 эВ, в то время как в структурах на  $n$ -Si она составляет 0.6 эВ.

Исследованные здесь МДП структуры были ранее опробованы нами как детекторы водорода на новом принципе — изменение фотоэдс в газовой среде. Этот метод оказался более чувствительным по сравнению с методом измерения темнового тока в той же газовой среде почти на 2 порядка величины. Измерения проводились в фотовольтаическом режиме (без смещения). Результаты этих исследований предполагается опубликовать в «Журнале технической физики». Изложенные в данном сообщении результаты по умножению фототока при обратном смещении могут представить интерес с точки зрения использования изученных МДП структур не только как детекторов излучения, но и как детекторов водорода и водородосодержащих газов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. A. Clarke, J. Shewchun. J. Sol. St. Electron., 14, 957 (1971).
- [2] J. Shewchun, R. A. Clarke. Sol. St. Electron., 17, 213 (1974).
- [3] M. A. Green, J. Shewchun. Sol. Sr. Electron., 17, 349 (1974).
- [4] А. Я. Вуль, С. В. Козырев, В. И. Федоров. ФТП, 15, 142 (1981).
- [5] А. Я. Вуль, В. И. Федоров, Ю. Ф. Бириюлин, Ю. С. Зинчик, С. В. Козырев, И. И. Сайдашев, К. В. Санин. ФТП, 15, 525 (1981).
- [6] С. К. Chow. J. Appl. Phys., 34, 2599 (1963).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 27, вып. 7, 1993

### ТЕНЗОСВОЙСТВА ДИОДОВ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ ПРИ ВСЕСТОРОННЕМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ

А. Абдураимов, С. З. Зайнабидинов, О. О. Маматкаримов, О. Химматкулов

Ташкентский государственный университет им. В. И. Ленина, 700095, Ташкент, Узбекистан  
(Получено 14 января 1992 г. Принято к печати 26 января 1993 г.)

В последние годы достигнуты значительные успехи в разработке и применении тензопреобразователей на основе барьеров Шоттки (БШ), однако остается ряд нерешенных вопросов, связанных с механизмом тензоэффекта и повышением тензочувствительности таких приборов. Большая часть результатов экспериментальных исследований и практических разработок, имеющих в литературе,

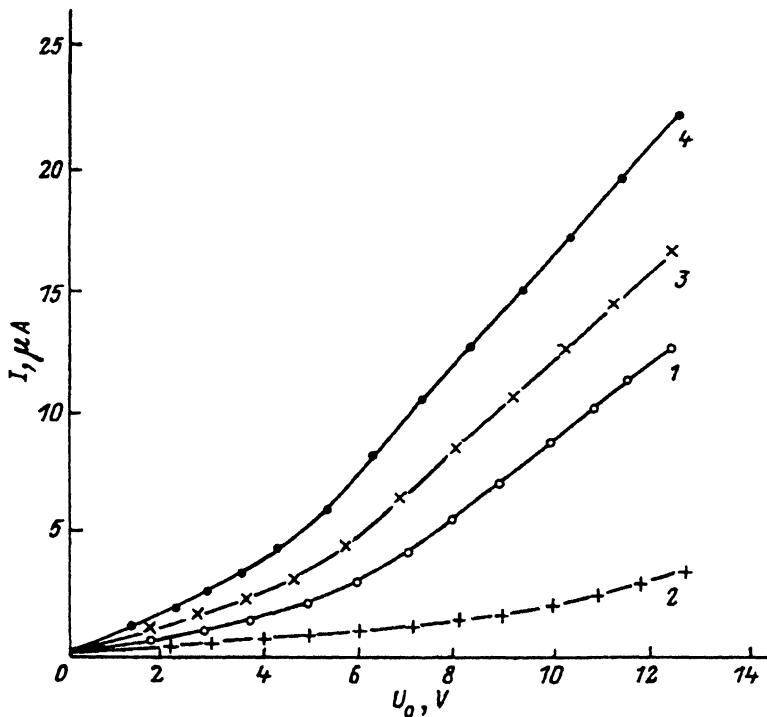


Рис. 1. ВАХ (1—4) диодов с барьером Шоттки Au—Si(Ni)—Sb при ВГС и  $T = 293$  К. 1, 3, 4 — прямые, 2 — обратная ветви ВАХ. Давление  $P$ ,  $10^8$  Па. 1, 2 — 0; 3 — 2; 4 — 4.

посвящена изучению влияния анизотропного давления [1—3], в то же время часто реализуемое на практике влияние изотропного (всестороннего) давления на характеристики полупроводниковых приборов почти не изучено.

В настоящей работе исследуются тензосвойства диодов с барьером Шоттки типа Au—Si(Ni)—Sb и ее базы  $n$ -Si(Ni) в условиях всестороннего гидростатического сжатия (ВГС) в диапазоне  $P = (0 \div 4) \cdot 10^8$  Па и  $T = 273 \div 293$  К.

Образцы  $n$ -Si(Ni) были получены путем высокотемпературной ( $T = 1200$  °С) диффузии из напыленного на поверхность  $n$ -слоя металлического Ni [4]. Образцы имели вид прямоугольного параллелепипеда с размерами  $3 \times 3 \times 1$  см и с кристаллографической ориентацией [111] вдоль малого ребра. После диффузии образцы  $n$ -Si с исходным сопротивлением  $\rho \sim 80$  Ом·см сохраняли тип проводимости, а  $\rho$  стало  $\sim 10^4$  Ом·см.

Диоды типа БШ изготовлены напылением золота и сурьмы на противоположные грани образцов с большой поверхностью. Измерения тензосвойств БШ при ВГС проводились с помощью автономной камеры (бомбы) высокого давления [5] в интервале давлений  $P = 0 \div 10^8$  Па.

Результаты измерения ВАХ диодов типа Au—Si(Ni)—Sb приведены на рис. 1, где кривые 1, 2 соответствуют прямым и обратным ветвям ВАХ. При воздействии ВГС значения прямого тока ( $J_f$ ) диодов увеличиваются (кривая 3). При этом чем больше значение  $P$ , тем больше изменение прямого тока (кривая 4). Для установления механизмов тензопроводимости данных диодов нами проведены измерения эффекта Холла в их базовых образцах  $n$ -Si(Ni) при ВГС (рис. 2). Из рис. 2 видно, что с ростом величины приложенного давления удельное сопротивление в образцах уменьшается (кривая 1) из-за увеличения

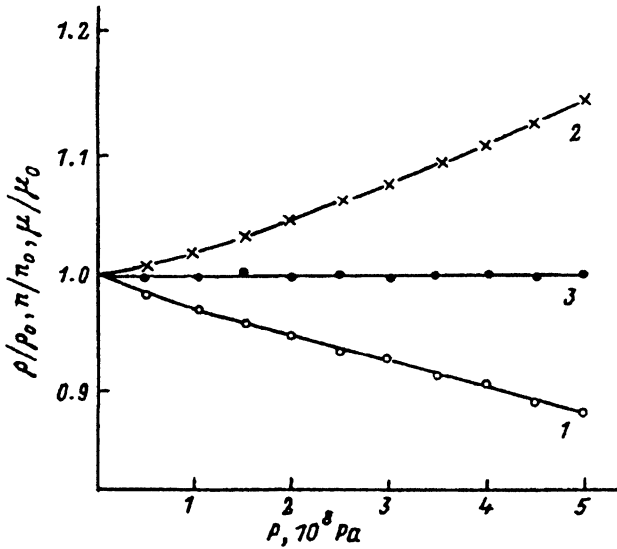


Рис. 2. Зависимости удельного сопротивления (1), концентрации (2) и подвижности (3) электронов от давления  $P$  при ВГС и  $T = 293$  К в образцах  $n$ -Si(Ni).

концентрации электронов (кривая 2), а их подвижность практически не изменяется (прямая 3).

Из характера зависимостей  $J_f = f(U_0)$  (рис. 1, кривые 1, 3, 4) и больших значений приложенного к диоду прямого напряжения видно, что основная часть напряжения  $U$ , приложенного к диоду, падает в толще базы, что в значительной степени определяет ВАХ, так как база диода является сильно компенсированной и к тому же при образовании БШ приконтактная область обедняется основными носителями (это приводит к возрастанию сопротивления базы до  $R_b \sim 2 \cdot 10^6$  Ом и увеличению толщины запряженного слоя БШ) [6].

Таким образом, наблюдаемые изменения прямого тока исследуемых диодов при ВГС (рис. 1) свидетельствуют о проявлении обратной связи, так как из-за уменьшения сопротивления их базы возрастает напряжение  $U_a$ , приложенное непосредственно к БШ.

На основе этих экспериментальных данных проведена оценка коэффициента тензочувствительности диодов по формуле [7]

$$S = \Delta I E^V / I_0 P, \quad (1)$$

где  $\Delta I = I_P - I_0$  — изменение тока при ВГС,  $I_0$  и  $I_P$  — значения токов до и после приложения давления,  $E^V$  — модуль Юнга. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента тензочувствительности исследуемых диодов  $S$  от обратной температуры. Как видно из рис. 3, с понижением температуры тензочувствительность диодов повышается почти в 2 раза.

В работах [1, 2] было показано, что изменение тока на контакте металл—полупроводник (М—П) (полупроводник с мелкими примесными уровнями) при деформации связано с изменением концентрации, эффективной массы и времени жизни носителей тока в полупроводнике, а также потенциального барьера на контакте М—П. По мнению авторов [1, 2], изменение тока при деформации связано в основном с изменением высоты потенциального барьера, и изменениями других вышперечисленных параметров полупроводника можно пренебречь. Но в диодах Шоттки с «длинной» базой или в диодах, базой которых являются

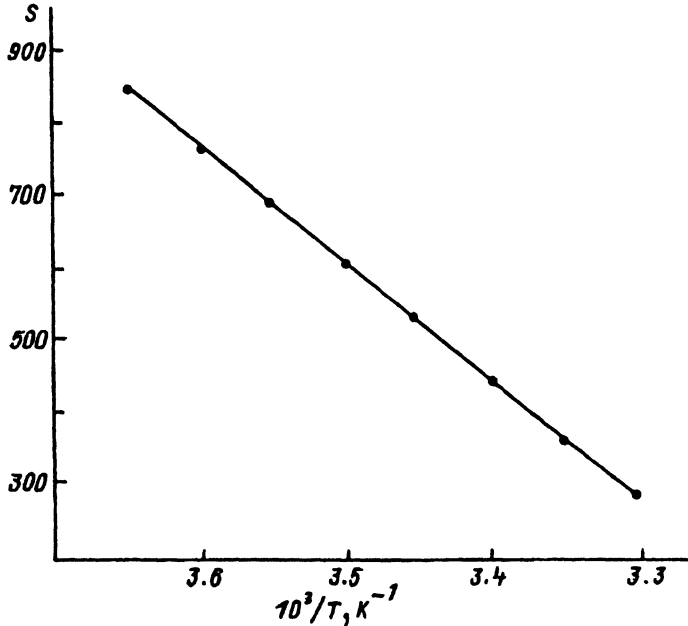


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента тензочувствительности в диодах Шоттки Au—Si(Ni)—Sb при ВГС  $S = f(1/T)$  при  $U_0 = 20$  В.

компенсированные полупроводники с глубокими примесными уровнями, основную роль в изменении тока при их деформации могут сыграть именно изменения физических параметров базы, так как с увеличением степени компенсации базы увеличивается не только ее сопротивление, но и толщина запирающего слоя диодов из-за уменьшения концентрации основных носителей тока ( $d \sim 1/\sqrt{n_0}$ ). В связи с этим, возможно, незначительные изменения концентрации основных носителей в базе диода при деформации приводят к значительным изменениям токопрохождения сквозь барьеры.

Таким образом, из экспериментальных результатов однозначно следует, что увеличение тока исследуемых диодов при ВГС связано в основном с проявлением положительной обратной связи в области контакта. Это связано с тем, что, во-первых, с уменьшением сопротивления базы при ВГС растет напряжение, приложенное непосредственно к БШ, и, во-вторых, увеличение концентрации электронов приводит к уменьшению толщины барьера. При этом незначительные изменения ( $\sim 10\%$ ) сопротивления и концентрации электронов в базе при ВГС приводят к увеличению тензочувствительности почти на порядок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. Л. Полякова. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов, 168. М. (1979).
- [2] О. П. Канчуковский, Л. В. Мороз, Н. Н. Садова, В. А. Преснов. Изв. вузов СССР. Физика, 5, 6 (1984).
- [3] М. К. Бахадырханов, А. Абдураимов, Х. М. Илиев. ФТП, 21, 1710 (1984).
- [4] М. К. Бахадырханов, С. З. Зайнабидинов. Изв. АН УзССР, 6, 73 (1976).
- [5] М. К. Бахадырханов, А. Абдураимов, Х. М. Илиев. ФТП, 22, 123 (1988).
- [6] В. И. Стафеев, Э. И. Каракушан. Магнитодиоды, 216. М. (1975).
- [7] П. С. Киреев. Физика полупроводников, 529. М. (1969).

Редактор Т. А. Полянская