

## Динамические тензохарактеристики диодов с барьером Шоттки при импульсном всестороннем гидростатическом давлении

© О.О. Маматкаримов, С.З. Зайнабидинов, А. Абдураимов, Р.Х. Хамидов, У.А. Туйчиев

Ташкентский государственный университет им. М. Улугбека,  
700095 Ташкент, Узбекистан

(Получена 22 января 1999 г. Принята к печати 3 июня 1999 г.)

Исследованы динамические тензохарактеристики диодов с барьером Шоттки типа Au–Si(Ni)–Sb при воздействии импульсного всестороннего гидростатического давления в диапазоне  $P = (0-5) \cdot 10^8$  Па, при температуре  $T = 300$  К. Исследования вольт-амперных характеристик диодов показали, что благодаря проявлению дополнительного температурного эффекта, стимулированного импульсным давлением, динамические параметры тензоэффекта в них на 20–30% возрастают по сравнению с их статическими параметрами.

Бурное развитие современной техники машиностроения и, в частности, автомобилестроения требует создания двигателей внутреннего сгорания с большим коэффициентом полезного действия при минимальных расходах горючего топлива. Как известно, при сгорании топлива в цилиндрах двигателей реализуются быстропеременные термодинамические процессы, близкие к адиабатическим, сопровождающиеся резкими перепадами давления и температуры газов. В связи с этим задача изучения физики этих термодинамических процессов в динамике и в экстремальных условиях является проблемой актуальной и требует создания быстродействующих электронных тензопреобразователей с высокой тензочувствительностью, надежностью и простых по конструкции.

Достаточно много работ посвящено исследованиям и созданию полупроводниковых тензопреобразователей [1], но они относятся к области воздействия постоянных или медленно изменяющихся и близких к статическим давлениям.

Цель настоящей работы — исследование динамических тензохарактеристик диодов с барьером Шоттки (ДБШ) типа Au–Si(Ni)–Sb при воздействии импульсного всестороннего гидростатического давления (ИВГД) в диапазоне  $P = (0-5) \cdot 10^8$  Па, при температуре  $T \approx 300$  К.

В исследованиях были использованы ДБШ, изготовленные на основе образцов компенсированного кремния  $n$ -Si(Ni), полученных путем высокотемпературной диффузии при  $T = 1100-1200^\circ\text{C}$  из напыленного на поверхность  $n$ -Si металлического слоя Ni [2]. Образцы имели вид прямоугольного параллелепипеда с размерами  $3 \times 3 \times 1$  мм<sup>3</sup> с кристаллографической ориентацией (111) вдоль малого ребра. После диффузии Ni образцы  $n$ -Si с исходным удельным сопротивлением  $\rho \approx 80$  Ом·см сохраняли тип проводимости, а  $\rho$  стало  $\sim 10^2 \div 10^5$  Ом·см. Диоды изготовлены путем напыления золота и сурьмы на противоположные грани образцов (с поверхностью  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>).

После приготовления токосъемных контактов образцы ДБШ окутывались эпоксидной смолой с целью теплоизоляции [3]. Измерения тензохарактеристик ДБШ при

ИВГД проводились на специальной экспериментальной установке [4] с помощью двухкоординатного графопроектиратора марки Н-307/1.

На рис. 1, *с* отражена кинетическая зависимость динамики воздействия ИВГД со скоростью нарастания давления  $\partial P/\partial t = 2.5 \cdot 10^8$  Па/с, с амплитудой  $P = 5 \cdot 10^8$  Па, при начальной температуре  $T \approx 300$  К. Кинетические зависимости тока  $I(t)$  в ДБШ при ИВГД и при напряжении прямого смещения  $U = 2.5$  В приведены на рис. 1, *а*, при этом удельное сопротивление ДБШ равнялось  $\rho \approx 10^3$  Ом·см. На рис. 1, *б* показаны зависимости изменения температуры в ДБШ в процессе воздействия ИВГД.

Как видно из рис. 1, *а*, при воздействии ИВГД значение тока в ДБШ возрастает до некоторой, соответствующей амплитуде давления, динамической величины  $I_{\max}$ , причем с такой же скоростью, как и скорость нарастания давления, после достижения давления амплитудного значения ток в ДБШ начинает релаксировать и уменьшаться до статического значения  $I_{\text{st}}$  ( $\partial P/\partial t = 0$ ,  $P = \text{const}$ ). В процессе снятия давления со скоростью убывания такой же, как и при нарастании, значение тока в ДБШ уменьшается до некоторого значения  $I_{\min}$  и после полного снятия давления начинает релаксировать и возрастать до первоначального своего значения  $I_0$ . При этом, чем больше амплитуда ИВГД, тем больше изменение тока:  $I_{\max}^{(2)} > I_{\max}^{(1)}$ ,  $I_{\text{st}}^{(2)} > I_{\text{st}}^{(1)}$ ,  $I_{\min}^{(2)} > I_{\min}^{(1)}$  при  $P_2 > P_1$ .

Изменения температуры ДБШ во всем цикле процесса воздействия ИВГД (рис. 1, *б*) происходят аналогично и синхронно изменениям тока как в качественном, так и в количественном отношении, т.е. при нарастании (убывании) давления температура ДБШ возрастает (убывает) до некоторой, соответствующей амплитуде давления величины  $T_{\max}$  ( $T_{\min}$ ). Далее, после достижения ИВГД своего амплитудного значения (или  $P = 0$ ), температура уменьшается (возрастает) до первоначального своего значения  $T_0$ .

Таким образом, проведенные исследования вольт-амперных характеристик ДБШ при ИВГД показывают, что благодаря проявлению дополнительного температурного эффекта, стимулированного импульсным давлением, динамические параметры тензоэффекта в них

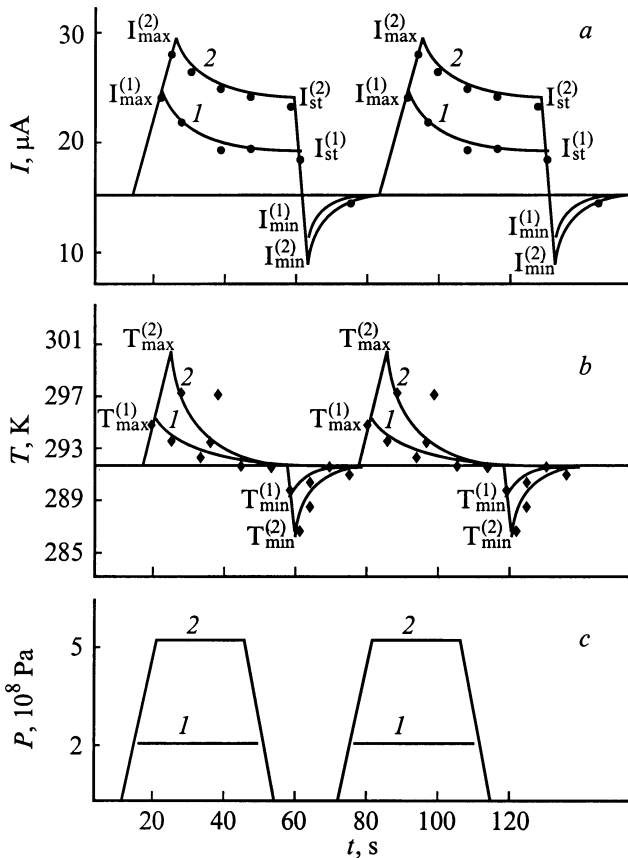
на 20 ÷ 30% возрастают по сравнению с их статическими, например при  $P = 5 \cdot 10^8$  Па относительное изменение  $I_{\max}/I_0 = 3.2$ , а  $I_{st}/I_0 = 2.2$ .

Как известно [1], основной характеристикой тензопреобразователей и тензодатчиков является коэффициент тензочувствительности  $S$ . В связи с этим нами исследовались зависимости коэффициента тензочувствительности ДБШ от удельного сопротивления  $\rho$  их базы  $n\text{-Si(Ni)}$ ,  $S = f(\rho)$ , и от приложенного прямого напряжения смещения  $U$ ,  $S = f(U_f)$ . Коэффициент  $S$  рассчитывался согласно традиционной формуле

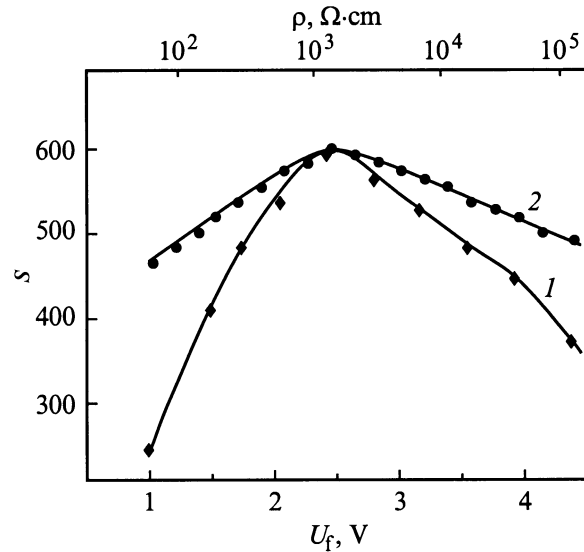
$$S = \left[ \Delta I / (I_0 E) \right] P,$$

где  $\Delta I = I_{\max} - I_0$  или  $\Delta I = I_{\min} - I_0$  — изменение тока в ДБШ,  $E = 1.8 \cdot 10^{11}$  Па — модуль Юнга,  $P$  — амплитудное значение ИВГД.

Из рис. 2 видно, что зависимости  $S = f(\rho)$  (кривая 1) и  $S = f(U_f)$  (кривая 2) имеют немонотонный характер, с максимумом коэффициента тензочувствительности



**Рис. 1.** Кинетические зависимости тока (а), температуры (б) и давления (с) в диодах с барьером Шоттки типа Au—Si(Ni)—Sb при прямом смещении  $U_f = 2.5$  В. Удельное сопротивление базы  $\rho \approx 5 \cdot 10^3$  Ом · см. Номера у кривых соответствуют амплитудным значениям давления  $P$ ,  $10^8$  Па: 1 — 2.5, 2 — 5.



**Рис. 2.** Зависимости коэффициента тензочувствительности  $S = f(\rho)$  и  $S = f(U_f)$  в диодах Шоттки типа Au—Si(Ni)—Sb при давлении  $P = 5 \cdot 10^8$  Па и  $\partial P / \partial t = 2.5 \cdot 10^8$  Па/с. 1 — зависимость  $S = f(\rho)$  при напряжении прямого смещения  $U_f = 2.5$  В; 2 — зависимость  $S = f(U_f)$  при  $\rho \approx 5 \cdot 10^3$  Ом · см.

$S \approx 600$ , с удельным сопротивлением  $\rho \approx 5 \cdot 10^3$  Ом · см при напряжении прямого смещения  $U_f \approx 2.5$  В.

Наблюдаемые максимумы тензочувствительности в ДБШ при ИВГД можно описать, сделав следующее предположение. Так как база ДБШ является компенсированной, воздействие давления и изменение температуры приводят к изменению концентрации основных носителей тока за счет барического смещения зоны проводимости, валентной и глубоких уровней Ni, что влечет за собой изменение сопротивления их базы и высоты потенциального барьера ДБШ. Видимо, большое значение коэффициента тензочувствительности в ДБШ, при малых напряжениях прямого смещения  $U_f < 2.5$  В и удельного сопротивления  $\rho < 5 \cdot 10^3$  Ом · см, связано с синфазными уменьшениями как высоты потенциального барьера, так и сопротивления базы, а при  $U_f > 2.5$  В и удельного сопротивления  $\rho > 5 \cdot 10^3$  Ом · см роль потенциального барьера ослабляется и тензосвойства ДБШ в основном определяются изменениями сопротивления их базы [5].

Результаты исследований тензосвойств в ДБШ типа Au—Si(Ni)—Sb при ИВГД свидетельствуют о том, что создание на их основе тензопреобразователей даст возможность “визуального” наблюдения динамики происходящих термодинамических процессов и определения их физических параметров, которые откроют возможность их усовершенствования и увеличения их надежности в эксплуатации.

## Список литературы

- [1] А.Л. Полякова. *Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов* (М., Наука, 1979). с. 168.
- [2] М.К. Бахадырханов, С.З. Зайнабидинов. Изв. АН УзССР, **6**, 73 (1976).
- [3] О.О. Маматкаримов. Автореф. канд. дис. РУз (Ташкент, 1993).
- [4] А. Абдураимов, С.З. Зайнабидинов, О.О. Маматкаримов, О. Химматкулов, Т.Э. Худайбергенов. ПТЭ, № 5, 229 (1992).
- [5] А. Абдураимов, С.З. Зайнабидинов, О.О. Маматкаримов, И.Г. Турсунов, О. Химматкулов. ФТП, **27**, 516 (1993).

*Редактор Т.А. Полянская*

## Dynamic strain properties of diodes with a Shottky barrier under pulsing hydrostatic pressure

O.O. Mamatkarimov, S.Z. Zainabidinov,  
A. Abduraimov, R.Kh. Khamidov, U.A. Tuichiev

M. Ulugbek Tashkent State University,  
700095 Tashkent, Uzbekistan

**Abstract** In the present work were investigated dynamic strain properties of diodes with a Shottky barrier of Au–Si(Ni)–Sb type under pulsing hydrostatic pressure in the range  $P = (0-5) \cdot 10^8$  Pa at  $T = 300$  K. VАН of the diodes under pulsing hydrostatic pressure show that due to an additional temperature effect stimulated by pulsing pressure the dynamic parameters of the strain effect increase by 20–30% in comparison with their static strain properties.