

*Хамидов Р.Х.*

*Доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизация технологических процессов и производств» Алмалыкского филиала НИТУ МИСИС.*

**ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТРУКТУР С БАРЬЕРОМ, ШОТТКИ ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЯМИ НИКЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЕГО БАЗОВОЙ ОБЛАСТИ.**

*Аннотация:* в работе исследовано тензосвойства структур с барьером Шоттки при воздействии импульсного гидростатического давления. Показано, что характер зависимости относительного изменения прямого тока при постоянной значении воздействие гидростатического давления от электрического напряжения связано с наличием компенсирующих примесей в объеме базового материала исследуемых структур с барьером Шоттки. Экспериментально показано, что из-за высокого удельного сопротивления ( $\sim 10^2$  и  $10^3$  Ом·см) базового материала исследуемых структур приложенное электрическое напряжения распределяется между потенциальном барьером и базового материала.

*Ключевые слова:* Глубокие уровни, кремний, примеси никеля, гидростатическое давления, структуры с барьером Шоттки.

*Khamidov R.Kh.*

*Associate Professor of the department “Information technologies and automation of technological processes and production” Almalik branch of NITU MISIS.*

**STRAIN SENSITIVITY OF STRUCTURES WITH SCHOTTKY BARRIER MADE ON THE BASIS OF SILICON WITH NICKEL IMPURITIES DEPENDING ON THE RESISTANCE OF ITS BASE AREA.**

*Abstract:* in this work the strain properties of structures with Schottky barrier under the influence of pulse hydrostatic pressure are investigated. It is shown that the character of the dependence of the relative change in the forward current at a constant value of hydrostatic pressure on the electrical voltage is due to the presence of compensating impurities in the volume of the base material of the investigated structures with Schottky barrier. It is experimentally shown that due to the high resistivity ( $\sim 10^2$  and  $10^3$  Ohm·cm) of

*the base material of the investigated structures the applied electric voltage is distributed between the potential barrier and the base material.*

*Keywords: Deep levels, silicon, nickel impurities, hydrostatic pressure, structures with Schottky barrier.*

Известно [1] что, легируя полупроводниковых материалов разными примесями можно контролировать их электрофизических параметров в очень широком диапазоне. Особенно легирование полупроводниковых материалов примесями, которые создают глубокие энергетические уровни в его запрещенной зоне приводит к проявление новых и весьма интересных свойств. Глубоколежащие примесные центры находясь в запрещенной зоне полупроводника могут находиться в частично ионизованном состоянии даже при комнатных температурах. Именно это свойства таких полупроводников делает его высокочувствительным к любым внешним воздействиям. Поэтому таких полупроводниковых материалов с глубокими примесными центрами можно отнести к новым классам полупроводниковых материалов.

В данной работе приводятся результаты исследования вклада базовой области в общую тензочувствительность структур с барьером Шоттки (БШ) изготовленных на основе компенсированного кремния с примесями никеля. На рис. 1. приведены относительные изменения прямого тока, протекающего через структуры с БШ на основе Si<Ni> и на основе исходного кремния с разными удельными сопротивлениями при импульсном гидростатическом давлении амплитудой 0.6 ГПа.

Из рисунка видно, что в структурах с БШ на основе Si<Ni> с удельными сопротивлениями  $10^2$ ,  $10^3$  Ом см, прямой ток увеличивается в 2 и в 2,4 раза соответственно, а в структурах на основе исходного кремния с удельными сопротивлениями  $10^2$ ,  $10^3$  Ом см эти изменения составляет всего лишь 1.2, 1.25 раза соответственно. Известно [3], что структуры с БШ, имеющие одинаковые удельные сопротивления, независимо от типа примесей, имеют почти одинаковые высоты потенциального барьера.

Значит, в структурах с БШ тензоэффект в основном связан с тензорелаксационными эффектами происходящими в базовой области при воздействии импульсного гидростатического давления.

Нами также исследованы тензосвойств поверхностно барьерных структур с барьером Шоттки на основе  $n - Si\langle P \rangle$  и  $n - Si\langle P, Ni \rangle$  с удельными сопротивлениями  $\sim 10^2$  и  $10^3$  Ом·см при всестороннем гидростатическом давлении (ВГД).

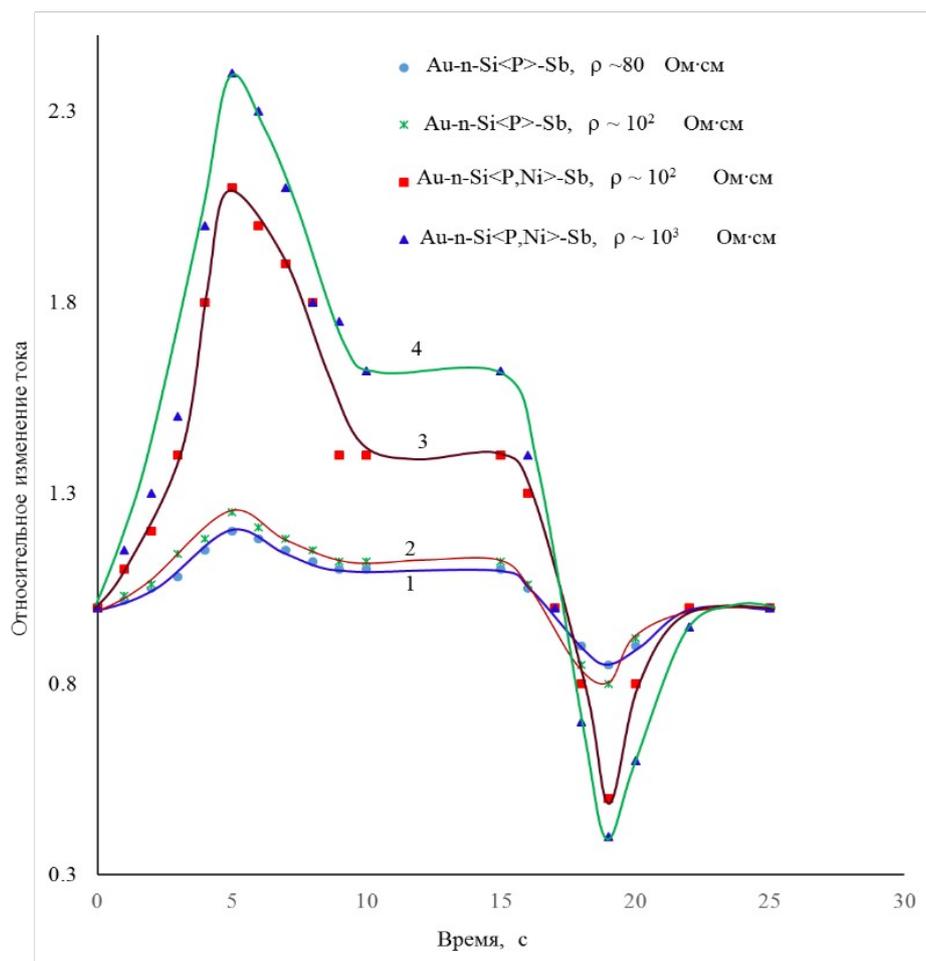


Рис.1. Относительные изменения прямого тока структур с Б.Ш. на основе  $Si\langle Ni \rangle$  и на основе исходного кремния с разными удельными сопротивлениями. 1.  $Si\langle P \rangle$ ; 80 Ом·см, 2.  $Si\langle P \rangle$ ; 200 Ом·см, 3.  $Si\langle P, Ni \rangle$ ;  $10^2$  Ом·см, 4.  $Si\langle P, Ni \rangle$ ;  $10^3$  Ом·см

На рисунке 2 приведены зависимость относительного изменения прямого тока структур с барьером Шоттки при ВГД ( $I/I_0=f(P)$ ,  $P=0.5$  ГПа) от приложенного электрического напряжения.

Как показали результаты исследований, относительное изменение прямого тока диодных структур с барьером Шоттки на основе  $n - \text{Si} \langle \text{P}, \text{Ni} \rangle$  с удельными сопротивлениями  $\sim 10^2$  (рис. 2 крив. 2) и  $10^3$  (рис. 2 крив. 3) Ом·см. при постоянном значении всестороннего гидростатического давления зависит от приложенного внешнего электрического напряжения.

Как видно из рисунка 2, зависимость относительного изменения прямого тока при ВГД от электрического напряжения можно делит на три характерные участки. На участке I отношения  $I/I_0$  при постоянном ВГД равной  $P=0.5$  ГПа увеличивается с увеличением электрического напряжения. Значение  $I/I_0$  на участке II уменьшается, а на участке III она становится постоянной.

По нашим предположениям, такой характер зависимости относительного изменения прямого тока при постоянном ВГД от электрического напряжения связано с наличием компенсирующих примесей в объеме базового материала исследуемых структур с барьером Шоттки. В нашем случае базовые материалы исследуемых диодных структур с барьером Шоттки являются компенсированный кремний с примесями никеля. Из-за высокого удельного сопротивления ( $\sim 10^2$  и  $10^3$  Ом·см) базового материала исследуемых структур с барьером Шоттки приложенное электрическое напряжения распределяется между потенциальном барьером и базового материала. Известно, что [3] зависимость высоты потенциального барьера от электрического напряжение выражается следующей формулой.

$$\varphi = \varphi_b - eU \quad (1)$$

где  $\varphi_b$  - контактная разность потенциалов металл-полупроводник.  $e$  - заряд электрона,  $U$  - внешнее напряжения, прикладываемые к контакту. В нашем случае при увеличении прямого напряжения исследуемые диодные структуры находятся под высоким гидростатическим давлением ( $P=0.5$

ГПа). Поэтому высота потенциального барьера с учетом гидростатического сжатия можно выразить следующим образом.

$$\varphi = \varphi_0 - eU - \gamma P \quad (2)$$

Увеличение внешнего электрического напряжения приводит к перераспределению падающее напряжение между контактом и базовой области поверхностно барьерной структуры.

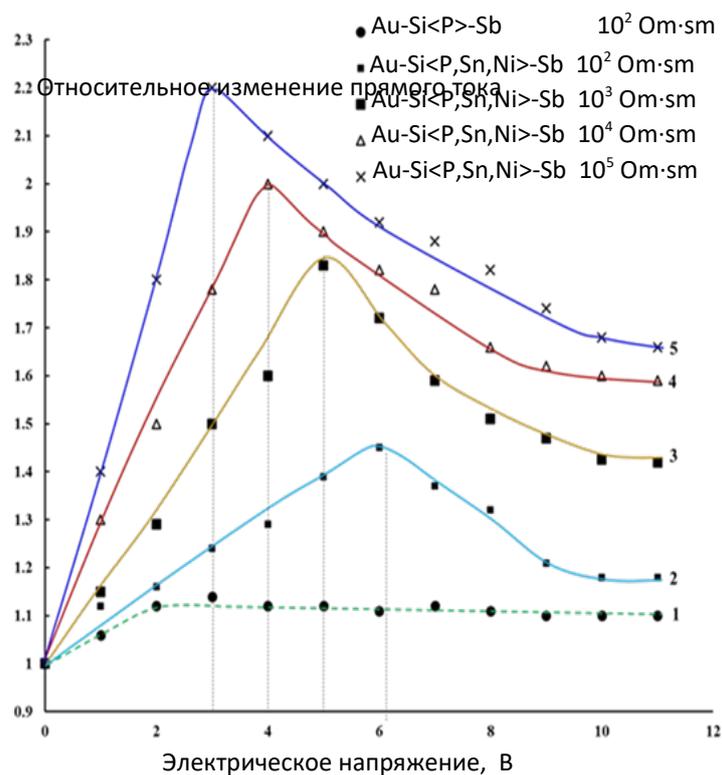


Рис.4.3 Относительное изменение прямого тока структур с барьером Шоттки изготовленных на основе исходного (1) кремния и Si<P,Ni> (2,3) при всестороннем гидростатическом давлении в зависимости от приложенного электрического напряжения

При меньших внешних электрических напряжениях ее большая часть падает на барьере. Поэтому ее перераспределения между контактом и базовой области незначительно. С дальнейшим увеличением напряжения потенциальный барьер становится еще меньше и его эффективное сопротивление становится сравнимо с сопротивлением базовой области. При этом увеличение относительного изменения прямого тока через исследуемых структур становится максимальным (рис. 2). Далее с увеличением электрического напряжения эффективное сопротивление

потенциального барьера становится на много меньше чем сопротивление базовой области. Поэтому при дальнейшем увеличении внешнего электрического напряжения отношения  $I/I_0$  начинает уменьшаться (рис. 2).

Из приведенных выше результатов можно сделать вывод о том, что чем больше удельное сопротивление базового кремния структур с барьером Шоттки тем хуже его выпрямляющее свойства. Ухудшение выпрямляющего свойства поверхностно барьерных структур не связано наличием компенсирующих примесей, а зависит только от сопротивления базовой области. В структурах с барьером Шоттки на основе  $n - Si\langle P, Ni \rangle$  с удельными сопротивлениями  $\sim 10^4$  и  $10^5$  Ом·см потенциальный барьер почти не формируются.

#### **Использованные источники:**

- [1]. Li, F., Shen, T., Wang, C. et al. Recent Advances in Strain-Induced Piezoelectric and Piezoresistive Effect-Engineered 2D Semiconductors for Adaptive Electronics and Optoelectronics. Nano-Micro Lett. 12, 106 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40820-020-00439-9>
- [2] Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 463 с
- [3] Р.Х. Хамидов, О.О. Маматкаримов. Тензоэлектрические эффекты в поверхностно барьерных структурах изготовленных на основе компенсированного кремния  $n-Si\langle P, Sn, Ni \rangle$ . // Вестник КГУ им. Бердаха. 2023, № 2, С.53-57.