ТЕНЗОЭФФЕКТЫ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ ЗОЛОТОМ ПРИ АНИЗОТРОПНОМ ДАВЛЕНИИ

О.О.Маматкаримов, И.Г.Турсунов

Мақолада бир тарафлама механик босимнинг олтин билан легирланган кремнийда ток ташувчилар ҳаракатчанлиги ва зичлигига таъсири ўрганилган. Тажрибаларда кузатилган тензоқаршиликнинг ўзгаришлари легирланган кремнийда ўтказувчанлик соҳаси чегаралари чуқурликларидаги ток ташувчиларнинг қайта тақсимланиши билан боғлиқ эканлиги кўрсатилган.

***Калит сўзлар**: тензоэффект, анизотропия, ҳаракатчанлик, кремний, деформация.*

В работе рассматривается влияние одноосного механического давления на концентрацию и подвижность носителей тока в кремнии, легированном золотом. Наблюдаемые изменения тензо-

сопротивления объяснены перераспределением носителей тока в долинах границы зоны проводимости в легированном кремнии.

***Калит сўзлар**: тензоэффект, анизотропия, подвижность, кремний, деформация.*

In this article the author discusses the influence of uniaxial pressure on the concentration and mobility of charge carriers in silicon doped with gold. The observed changes in the tensor resistance explained the redistribution of the carriers in the valleys of the conduction band in doped silicon.

***Key words**: strain effect, anisotropy, mobility, silicon, deformation*

Примеси с глубокими уровнями оказывают значительное влияние на чувствительность полупроводников к внешним воздействиям и поэтому исследования эффекта тензосопротивления в легированном кремнии в широком интервале механических напряжений представляют научно-практический интерес.

Данная работа посвящена исследованию зависимости удельного сопротивления кремния, компенсированного примесью золота, от прикладываемых механических напряжений в диапазоне давлений $(0 \div 1,8) \cdot 10^8$ Па $\left(1800\ \text{kg/sm}^2\right)$. Измерения проводились при комнатной температуре (*T = 300 K*) с помощью усовершенствованной универсальной установки, создающей одноосное и локальное давления [1].

Известно [2-4], что механизмы тензоэффекта в полупроводниках с мелкими и глубокими уровнями имеют некоторые различия, а именно: в полупроводниках с мелкими уровнями тензоэффект в основном обусловлен анизотропией подвижности носителей тока - электронов и дырок, а в полупроводниках с глубокими уровнями - концентрации носителей заряда.

Анизотропия подвижности носителей тока – электронов возникает за счет нарушения эквивалентности долин зоны проводимости при деформации, а дырок за счет снятия вырождения в вершине валентной зоны. При этом полная концентрация носителей тока в зонах не изменяется, так как мелкие примесные уровни вплоть до жидких гелиевых температур являются опустошенными.

Для проведения исследования нами были использованы образцы $n-Si<P>$, $\rho = 20\ \Omega \cdot \text{sm}$ и $\rho = 10^2 \div 10^4\ \Omega \cdot \text{sm}$ с кристаллографической ориентацией $\{J \| X \| [111]\}$ с $\{J \| X \| [100]\}$. На рис.1. приведены зависимости удельного сопротивления от сжатия образцов: $n-Si<P>$ (крив.1. $\rho = 20\ \Omega \cdot \text{sm}$) и для образцов $n-Si<Au>$ (крив.2,4) $\rho = 10^2\ \Omega \cdot sm$ и $\rho = 10^4\ \Omega \cdot sm$ с кристаллической ориентацией [111] соответственно и $n-Si<Au>$ (крив.3,5) $\rho = 10^2\ \Omega \cdot sm$ и $\rho = 10^4\ \Omega \cdot sm$ с кристаллической ориентацией [100] соответственно.

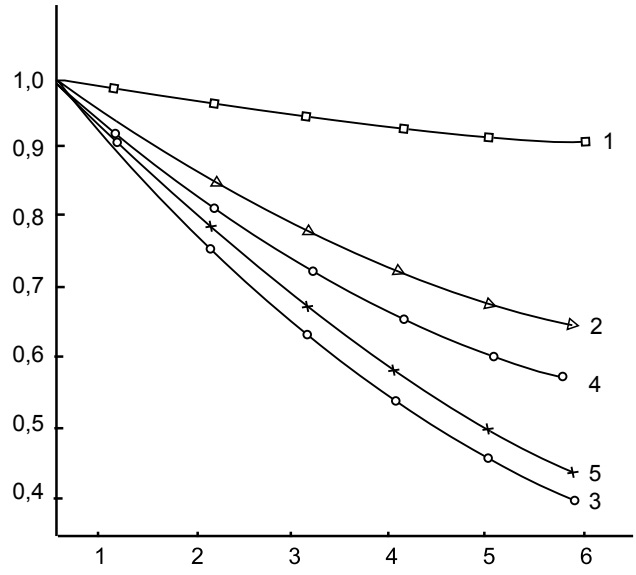

Рис.1. Зависимости относительного удельного сопротивления ρ/ρ_0 в образцах $Si<Au>$ от одноосного сжатия в условиях $\{J \| X \| [111]\}$ и $\{J \| X \| [100]\}$ при T=300 К.

1. n-Si<P> с $\rho = 20\Omega \cdot sm$
2. $n-Si<Au>$ с $\rho = 10^2\ \Omega \cdot \text{sm},\ \{J \| X \| [111]\}$.
3. $n-Si<Au>$ с $\rho = 10^2\ \Omega \cdot \text{sm},\ \{J \| X \| [100]\}$.
4. $n-Si<Au>$ с $\rho = 10^4\ \Omega \cdot \text{sm},\ \{J \| X \| [111]\}$.
5. $n-Si<Au>$ с $\rho = 10^4\ \Omega \cdot \text{sm},\ \{J \| X \| [100]\}$.

Как видно из рисунка, удельное сопротивление исходных образцов $n-Si<P>$ при сжатии почти не изменяется, а в образцах $n-Si<Au>$ уменьшается, при этом увеличение степени компенсации приводит к значительному уменьшению удельных сопротивлений.

Для определения механизма изменения тензосопротивления в образцах $n-Si<P>$ и $n-Si<Au>$ нами исследовались тензоэлектрические свойства образцов с помощью эффекта Холла при одноосном сжатии.

Измерения эффекта Холла при сжатии исходных образцов $n-Si<P>$ показали, что во всем диапазоне сжатий коэффициент Холла $R_x = \frac{1}{en}$ заметно не меняет своего значения, что свидетельствует о постоянстве концентрации электронов, а также их подвижности $\mu = \frac{R_x}{\rho}$. Полученные результаты в $n-Si<P>$ соответствуют существующей теории тензоэффекта в подобных образцах [2,5].

Измерения эффекта Холла при сжатии образцов $n-Si<Au>$ показали, что в данном случае подвижность электронов и соответственно коэффициент Холла заметно уменьшается (рис.2, крив. 1',2',3'), что свидетельствует о возрастании концентрации электронов (рис.2, крив. 1,2,3).

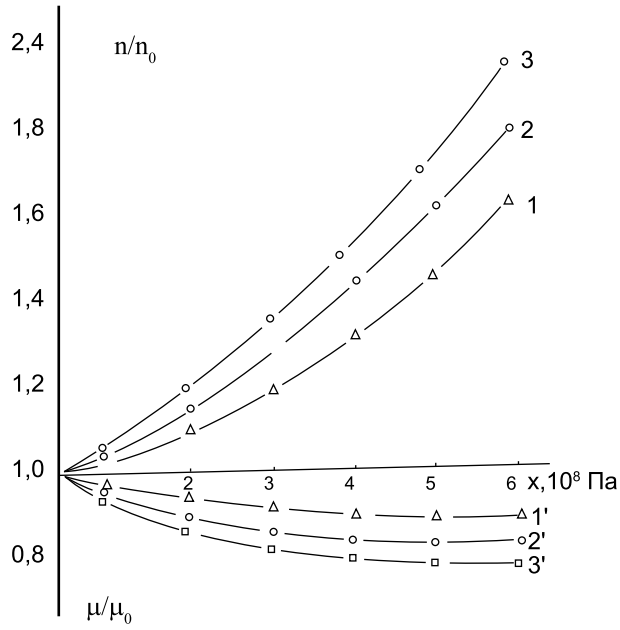

Рис.2. Зависимости концентрации (1,2,3) и подвижности (1',2',3') электронов в образцах $n-Si<Au>$ ***от одноосного сжатия в условиях*** $\{J \| X \| [111]\}$ и $\{J \| X \| [100]\}$ при T=300 K.

При этом, чем больше степень компенсации, тем больше увеличение концентрации электронов.

Такие результаты исследований тензосопротивлений при условиях сжатия $\{J \| X \| [100]\}$ можно объяснить следующим образом: в условиях термодинамического равновесия носители заряда распределяются поровну между разными долинами. При деформации образцов равновесие нарушается и энергия электронов в одних долинах увеличивается, а в других уменьшается [2-3]. В результате сжатия

изменяется распределение носителей между долинами, что приводит к изменению результирующей подвижности, и это проявляется в зависимости электрического сопротивления от величины сжатия.

В работах [3,7] было показано, что атомы золота в запрещенной зоне кремния образуют два глубоких (донорный и акцепторный) уровня с энергиями ионизации соответственно $E_D = E_C - 0,54$ эВ, $E_A = E_\vartheta + 0,35$ эВ. В образцах $n - Si < Au >$ только акцепторные уровни выступают в роли компенсирующей примеси. Поэтому согласно [2,4] можно предположить, что увеличение концентрации электронов при одноосном сжатии образцов $n - Si < Au >$ связано с уменьшением энергии ионизации уровней Au с изменением ширины запрещенной зоны Si при одноосном сжатии.

Литература:

1.Маматкаримов О. Тензоэлектрический эффект в кремнии с глубокими уровнями и в структурах на их основе. // Док.диссерт.2003.с.251.

2. S.Suthram, J.C.Ziegert, T.Nishida and S.E.Thompsonю Piezoresistance Coefficients of (100) Silicon nMOSFETs Measured at Low and High (~1.5 GPa) Channel Stress. IEEE electron device letters, vol. 28, no.1,2007.

3. Семенюк А.К., Федосов А.П. Пьезосопротивление n-Ge при наличие глубоких уровней. //ФТП. 1979. –т.13. – вып.5. – С.1001-1003.

4. Абдураимов А., Бахадырханов М.К., Турсунов О.О., Илиев Х.М. Пьезо и Холл эффекты в p-Si<Mn> при ОУД. // ФТП. 1985. – т.19. – вып. 11. –С. 2052-2054.

5. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. – Киев. – Наукова думка. 1975.- 703 с.

6. Кучинский Л.В., Ломако В.М., Шахлевич Л.Н. Конфигурационно-бистабильные дефекты в кремнии. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т.43. вып.9. С.423-425.

7. Зайнабидинов С. Физические основы образования глубоких уровней в кремнии.- Т.: Фан, 1984.- 160 с.

Наманган муҳандислик-технология институти,
Ўзбекистон Миллий университети,
2016 йил 21 июнда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. С.Зайнобидинов)