

## ТЕНЗОРЕЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ GaSb, ЛЕГИРОВАННЫЕ МАРГАНЦЕМ

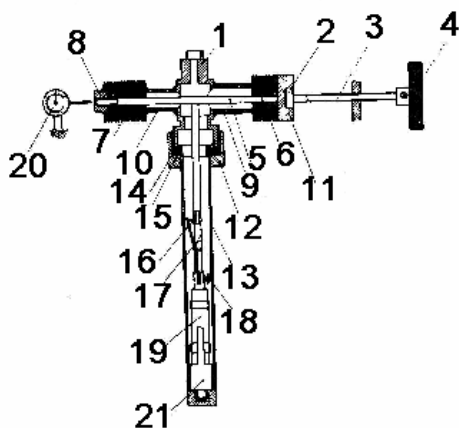
М.И. АЛИЕВ<sup>а</sup>, А.А.ХАЛИЛОВА<sup>а</sup>, Д.Г.АРАСЛЫ<sup>а</sup>, Р.Н.РАГИМОВ<sup>а</sup>,  
МЕТИН ТАНОГЛЫ<sup>б</sup>, ЛЮТФИ ОЗЮЗЕР<sup>б</sup>

*Институт физики НАН Азербайджана<sup>а</sup>  
AZ1143, Баку, пр.Г.Джавида 33  
Измирский Технологический институт<sup>б</sup>  
IYTE Campus, Gulbahce koyu Urla, Izmir, 35437, TURKEY*

Описано устройство для измерения тензометрических характеристик. В интервале температур 280÷400К и деформации  $\pm 6 \cdot 10^{-4}$  отн.ед. исследованы тензометрические характеристики тензорезисторов на основе GaSb<Mn>. Показано, что с увеличением степени легирования температурные коэффициенты тензочувствительности и сопротивления уменьшаются.

Полупроводниковые тензорезисторы широко используются при исследовании деформаций и напряжений в деталях машин и конструкций в качестве преобразователей механических величин в электрические, в устройствах автоматики и измерительной техники [1,2]. Различные устройства, существующие для измерения чувствительности полупроводников к деформации, имеют ряд недостатков [3]. В этих устройствах, в основном, тензочувствительный элемент располагают на дополнительных упругих элементах, у которых измеряют прогиб и рассчитывают относительную деформацию. Обычно эти устройства не изолированы от окружающей среды, что приводит к окислению образцов, адсорбированию влаги, при непосредственном погружении в жидкий азот образуется тонкая изморозь, ледяная корка, что приводит к большим погрешностям в измерениях. Кроме того, они имеют сложный механизм передачи деформации, громоздки

и дорогостоящи. Созданное нами простое и малогабаритное устройство для изучения тензометрических характеристик в лабораторных условиях представлен на Рис.1.



**Рис.1.**  
Схематический разрез  
установки для исследования  
тензометрических  
параметров.

Внешнее воздействие, осуществляющееся вращением ручки 4, через стержень 3 с впрессованным на нем подшипником 2 передается Т-образному толкателю 5, жестко закрепленному к головкам сильфонов 8 и 11 резьбовым соединением. Перемещаясь, деформирующая игла 16, расположенная на нижней части толкателя, деформирует пластинку (в момент соприкосновения толкателя с пластиной включается контрольная лампочка), которая выполнена в виде консольной балки с геометрическими размерами 44X7X0,25мм из пружинной стали марки 65Г ГОСТ 1050-60, с наклеенным на нее

тензорезистором. В процессе растяжения и сжатия образца происходит сжатие и растяжение сильфонов 6 и 7. Это перемещение фиксируется часовым индикатором 20 (ИЧ ГОСТ 577-68). Использование в устройстве сильфонов является простейшим решением передачи деформации без нарушения герметичности системы. Изолирует тензорезистор от окружающей среды кожух 13, изготовленный из мельхиора для меньшей передачи температуры корпуса установки и завинчивающийся в держатель 19. Верхний его конец с помощью прижимной гайки 12 и внутренних прокладок 14 и 15 закрепляется на корпусе 1. Прокладка 12 изготовлена из тефлона, сохраняющего упругие свойства в широком интервале температур (77÷600К). Пластина 17 с наклеенным на нее тензорезистором закрепляется в держателе, на котором размещен и нагреватель. Прикрепленная к держателю рамка 21, соединяющая его с корпусом, изготовлена из мельхиора.

Для снятия температурной зависимости характеристик тензорезисторов температура поддерживалась нагревателем и дьюаром с жидким азотом.

Такое устройство позволяет снимать характеристики сразу 15÷20 тензорезисторов в интервале температур 80÷500К при вакууме  $10^{-3}$  мм рт.ст. На описанной установке были испытаны кремниевые тензорезисторы серийного производства. Полученные результаты совпадали с их паспортными данными.

На этой установке в интервале деформации  $\pm 6 \cdot 10^{-4}$  отн.ед. и температур 280÷400К были исследованы тензометрические характеристики тензорезисторов на основе GaSb. Кристаллы GaSb были получены сплавлением компонент в стехиометрических количествах с последующей очисткой горизонтальной зонной плавкой. Полученный GaSb имел концентрацию носителей заряда  $p=1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Как известно, особенности структуры энергетических зон GaSb обуславливают большое значение тензоэффекта, но сильная зависимость удельного сопротивления  $\rho$  от температуры приводит к большой нелинейности параметров тензорезисторов на его основе. Одним из путей улучшения их температурной стабильности может быть повышение степени легирования. С этой целью полученный GaSb был легирован Mn до концентрации носителей заряда  $3,6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Для исследования тензоэффекта вырезались пластины GaSb вдоль роста кристалла размерами  $7 \times 0,08 \times 0,2 \text{ мм}^3$ . Полученные пластины шлифовались, полировались, поверхностные напряжения снимались травителем CP-4. Близко к торцам образца были нанесены оловянные контакты. Известно, что контакт на основе олова отличается хорошей омичностью, мягкостью, поэтому он механически малонапряженный, не склонен к коррозии. Выводами служила медная проволока диаметром 0,05мм. Изготовленные таким образом чувствительные элементы были наклеены с помощью клея ВЛ-931 на балку чистого изгиба и после сушки при комнатной температуре подвергались полимеризации (1 час -  $340 \text{ K} \pm 10 \text{ K}$ , 2 часа -  $410 \pm 10 \text{ K}$ , 2 часа -  $450 \pm 5 \text{ K}$ ), толщина клеевого слоя не превышала  $10 \pm 3 \text{ мкм}$ . В такой тонкой клеевой пленке объемные напряжения играют незначительную роль. Выбор этого клея был обусловлен его хорошей адгезией к металлам и неметаллическим материалам, при незначительной толщине клеевая пленка отличается высокими диэлектрическими качествами, гибкостью и прочностью. Рабочий диапазон температур клея 80÷390К. В полупроводниковой тензометрии качество клеевого соединения является одним из решающих факторов, определяющих поведение наклеенного тензорезистора [4]. Его характеристики такие как тензочувствительность, линейность, «пользучесть», срок службы и другие находятся в прямой зависимости от клеевого соединения.

На Рис.2 представлены зависимости относительного изменения сопротивления от приложенной относительной деформации для тензорезисторов из GaSb с различными концентрациями дырок. Для чистого GaSb при деформации  $6 \cdot 10^{-4}$  отн.ед. наблюдается изгиб деформационной кривой, связанный с наступлением пластической деформации. Во избежании поломки образцов при измерениях ограничивались

деформацией  $5 \cdot 10^{-4}$  отн.ед. Наблюдаемые на рисунке изменения наклона деформационных кривых с ростом концентрации дырок указывают на уменьшение коэффициента тензочувствительности. Из деформационной зависимости был определен коэффициент тензочувствительности  $S = (\Delta R/R_0)/\epsilon$ , где  $\Delta R/R_0$  – относительное изменение сопротивления,  $\Delta R = R_\epsilon - R_0$ ,  $R_\epsilon$  и  $R_0$  – сопротивления деформированного и недеформированного материала,  $\epsilon$  – относительная деформация.

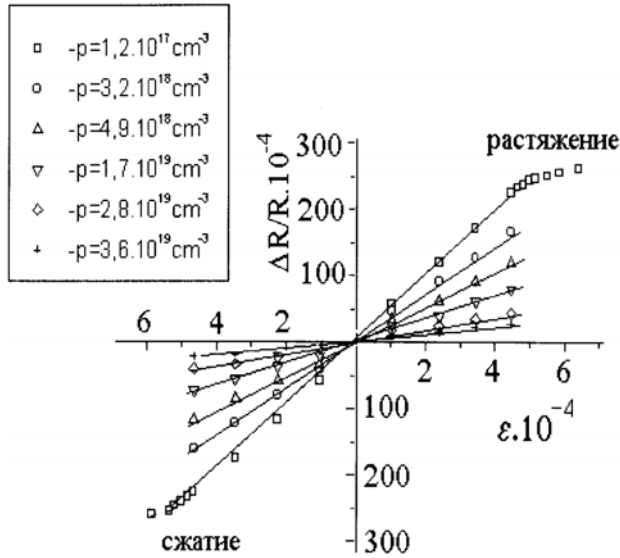


Рис.2.

Относительное изменение сопротивления от относительной деформации для тензорезисторов из GaSb<Mn>

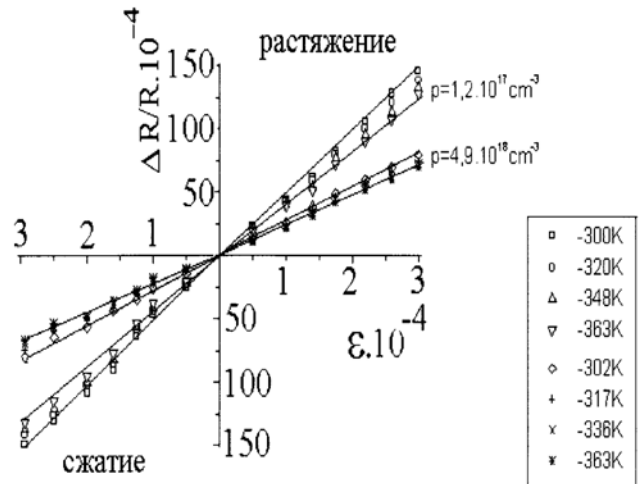


Рис.3.

Относительное изменение сопротивления от деформации для тензорезисторов из GaSb с концентрацией  $p = 1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  (1,2,3,4) и  $p = 4,9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (5,6,7,8).

В исследованных образцах GaSb<Mn> коэффициент тензочувствительности в зависимости от уровня легирования меняется от 50 для гомогенного GaSb до 5 для образца с  $p = 3,6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Измерения проводились при растяжении и сжатии. Характерные деформационные кривые при различных температурах для двух образцов представлены на Рис.3. Температурные зависимости  $S$  и  $R$  с ростом концентрации носителей заряда ослабевают (Рис.4). С помощью экспериментальных данных были определены температурные коэффициенты тензочувствительности ( $\alpha$ ) и сопротивления ( $\beta$ ):

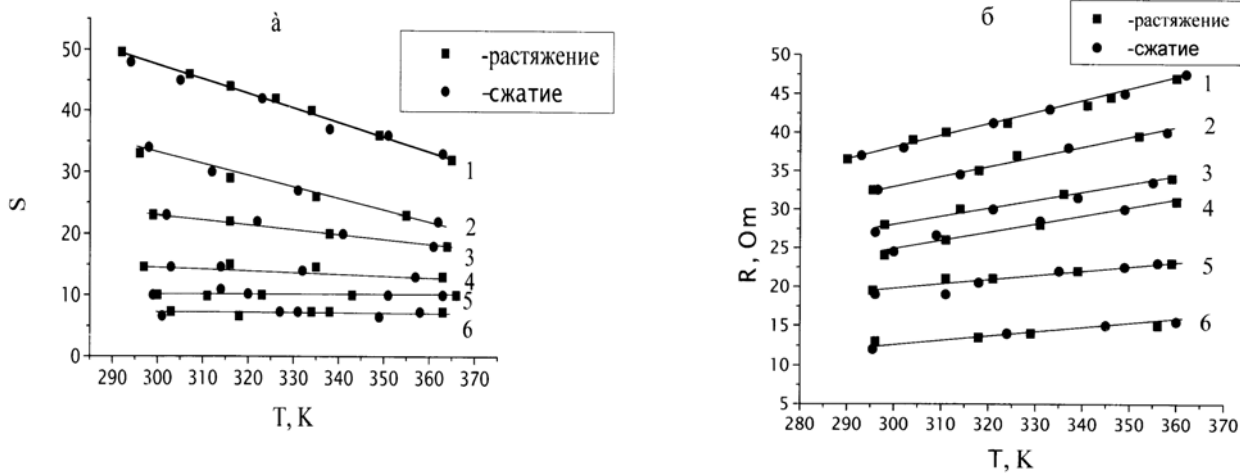
$$\alpha = (\Delta S/S_0)/\Delta T \cdot 100\%/\text{град}$$

$$\beta = (\Delta R/R_0)/\Delta T \cdot 100\%/\text{град.}$$

$\Delta S = S_T - S_0$ ,  $\Delta R = R_T - R_0$  где  $S_T$ ,  $S_0$ ,  $R_T$  и  $R_0$  – коэффициенты тензочувствительности и сопротивления при данной и комнатной температурах,

$$\Delta T = T_T - T_0.$$

Для гомогенного GaSb  $\alpha = 0,5\%/\text{град}$ ,  $\beta = 0,4\%/\text{град}$ ,  $S = 50$ , а для GaSb с  $p = 3,6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $\alpha = 0,23\%/\text{град}$ ,  $\beta = 0,33\%/\text{град}$ ,  $S = 5$ . Таким образом, с увеличением степени легирования в GaSb температурные коэффициенты тензочувствительности и сопротивления уменьшается в  $\sim 2$  и  $\sim 1,2$  раза соответственно, тензочувствительность уменьшается  $\sim 10$  раз. Во всех исследованных тензорезисторах гистерезис отсутствует.



**Рис.4.**

Температурные зависимости тензочувствительности(а) и сопротивления(б) для тензорезисторов из GaSb<Mn>: 1 – $\rho=1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ; 2– $\rho=3,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ; 3– $\rho=4,9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ; 4– $\rho=1,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ; 5– $\rho=2,8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ; 6–  $\rho=3,6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$

1. А.А.Дружинин, И.И.Марьямова, Е.Н.Лавитская., А.П.Куртаков, Ю.М. Панков, Датчики и системы, №6 (2001) 2.
2. S.Middelhoek, A.A.Bellekom, U.Dausterstadt, P.J.French, *Meas.Sci. Technol.*, №6 (1995) 1641.
3. Э.П.,ГоцманА.Ф.,Городецкий Т.Н., Гук Н.Я. Якунина, «Полупроводниковая тензометрия» труды III совещания, Новосибирск, кн.1 (1969) 209.
4. И.А. Шушкевич, *Основы электротензометрии*, Минск, Высшейшая школа, 1975.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Научного Комитета НАТО в рамках Collaborative Linkage Grant PST.CLGN 978434.*

#### MANQANLA LEQİRƏ OLUNMIŞ GaSb ƏSASINDA TENZOREZİSTORLAR

**M.İ.ƏLİYEV, A.Ə.XƏLİLOVA, D.H.ARASLI, R.N.RƏHİMOV,  
MƏTİN TANOĞLU, LÜTFÜ ÖZYÜZƏR**

Məqalədə tenzometrik xassələri tədqiq etmək üçün qurğu təsvir olunmuşdur. GaSb<Mn> əsasında hazırlanmış tenzomüqavimətlərin tenzometrik xassələri  $6 \cdot 10^{-4}$ n.v. deformasiya və 280÷400K temperatur bölümündə tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, aşqarlanma dərəcəsi artdıqca tenzohəssaslığın və müqavimətin temperatur əmsalı azalır.

#### STRAIN SENSITIVITY SENSOR ON THE BASE OF GaSb DOPED MANGANESE

**M.I.ALIYEV, A.A.KHALILOVA, D.H.ARASLY, R.N.RAHIMOV, METIN TANOGLU, LUTFI OZYUZER**

The device for measurement of strain sensitivity has been described. The strain characteristics in the range of temperature 280-400K and deformations  $\pm 6 \cdot 10^{-4}$ r.u. of strain resistors on the base of GaSb<Mn> have been investigated. It is shown that the temperature coefficient of strain sensibility and of resistivity decreases with increase of doping degree of impurities.

Редактор: С.Мехтиева