

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ InSb С МАРГАНЦЕМ

И.Х. МАМЕДОВ*, А.А. ХАЛИЛОВА**, Д.Г. АРАСЛЫ**, Р.Н. РАГИМОВ**,
М.А АЛИЕВА***

*Национальная Академия Авиации Азербайджана,
AZ-1045, Баку, Бина, 25 км

**Институт физики НАН Азербайджана,
AZ -1143, Баку, пр. Г. Джавида, 131

***ADNSU, AZ-1007, Баку, пр. Азадлыг, 20
almaz@physics.science.az

Созданы оригинальные тензорезисторы на основе эвтектики InSb-MnSb с линейными безгистерезисными термостабильными характеристиками. Несимметричность их деформационных характеристик при сжатии и растяжении обусловлена особенностями структуры валентной зоны p-InSb.

Ключевые слова: эвтектический композит, тензорезисторы, деформационные характеристики.

PACS: 85.50.-n, 85.85.+j, 81.70.Bt.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники предъявляет к полупроводниковым сенсорам целый ряд требований, одним из которых является неизменность коэффициента тензочувствительности с температурой.

Нано и микрокомпозиционные материалы обладают целым рядом необычных и практически важных свойств, делающих их чрезвычайно перспективными объектами как для прикладных, так и фундаментальных исследований. Среди них полупроводниковые эвтектические композиты AZB5-3д переходные металлы занимают особое место. Их характерная особенность - наличие металлических включений в полупроводниковой матрице, что обуславливает в них некоторые физические особенности тензоэффекта. В этих гетерогенных структурах деформация системы контактов полупроводник-металл приводит к изменению контактного сопротивления фаз, ослабевают межатомные взаимодействия, уменьшается энергия связи валентных электронов, обусловленная существенным перераспределением электронных плотностей вблизи атомов на границе фаз, что оказывает существенное влияние на все кинетические эффекты, естественно и на тензоэффект [1,2]. Сочетание в таких композитах высокой прочности одного компонента с игольчатостью другого препятствует хрупкому разрушению кристалла и обеспечивает улучшенные механические свойства, позволяющие производить механическую обработку с меньшими потерями. Всё это не допускает ухудшения параметров при вибрационных и температурных нагрузках. С другой стороны, в них удачно сочетается целый ряд физических свойств: магнитные, термоэлектрические, оптические, эмиссионные, что создаёт возможности для их широкого применения. Термическая устойчивость микроstructures, высокая прочность и пластичность, относительная лёгкость получения, установление благоприятных с энергетической точки зрения кристаллографических связей на межфазных границах, возможность

изменения микроstructures технологическими режимами и т.д. расширяет их практическую значимость.

В данной работе представлены результаты исследования тензоэффекта эвтектики InSb-MnSb и p-InSb в направлении /111/ с концентрацией носителей заряда $5,6 \cdot 10^{17}$ – $1,6 \cdot 10^{19}$ см⁻³ в интервале температур 250-350K и деформаций $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн.ед.

ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сплав InSb-MnSb имеет эвтектическую структуру при внесении 6,5вес. % MnSb. Эвтектика была получена сплавлением необходимых весовых процентов компонент вертикальным методом Бриджмена со скоростью перемещения фронта кристаллизации 1мм /мин. В предыдущих работах нами показано, что при направленной кристаллизации эвтектики InSb-MnSb включения второй фазы распределены равномерно и расположены вдоль направления движения фронта кристаллизации в виде параллельно ориентированных игл длиной 50÷100 мкм, диаметром ~1 мкм, плотностью $\sim 8,1 \cdot 10^4$ мм² [1,3]. Для исследования тензометрических характеристик из полученной эвтектики вырезались прямоугольные пластины, шлифовались, полировались, поверхностные напряжения снимались травителем CP-4. Как известно, тензоэффект, в основном, определяется удельным сопротивлением, которое в эвтектиках обладает сильной анизотропией в зависимости от ориентации игл и является одним из основных характеристических особенностей эвтектик [4,5]. Вследствии этого чувствительные элементы тензорезисторов были изготовлены в трех различных взаимных направлениях игл(x), тока(I) и плоскости его основания(Π): $I \perp x \parallel \Pi$, $I \perp x \perp \Pi$, $I \parallel x \parallel \Pi$ размерами 7x0,8x0,2 мм³. Расположение игл контролировалось микроскопом. К концам образца были нанесены два оловянных контакта, отличающиеся хорошей омичностью и механически мало напряженные. Чувствительные элементы были наклеены клеем ВЛ-931 толщиной 15 ± 3 мкм, имеющим хорошую адгезию

и отличающимся высокими диэлектрическими качествами, гибкостью, прочностью и рабочим диапазоном температур 80-390К. Тензорезисторы были наклеены на балку чистого изгиба, позволяющую одновременно проводить испытание более десяти тензорезисторов. Измерения были проведены компенсационным, потенциометрическим методом на установке, созданной нами для исследования тензометрических характеристик [6]. Параметры тензорезисторов измерялись после четырёх циклов нагрева, когда их значения стабилизировались. Характеристики тензорезисторов исследованы в интервале температур 250-350К и деформаций $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн.ед.

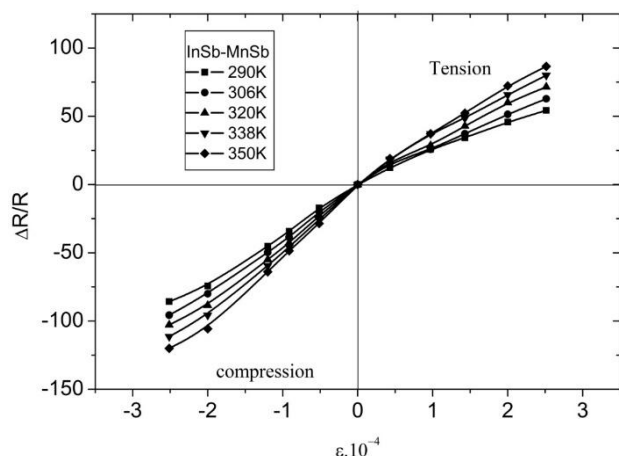


Рис.1. Деформационные характеристики тензорезисторов InSb-MnSb при различных температурах.

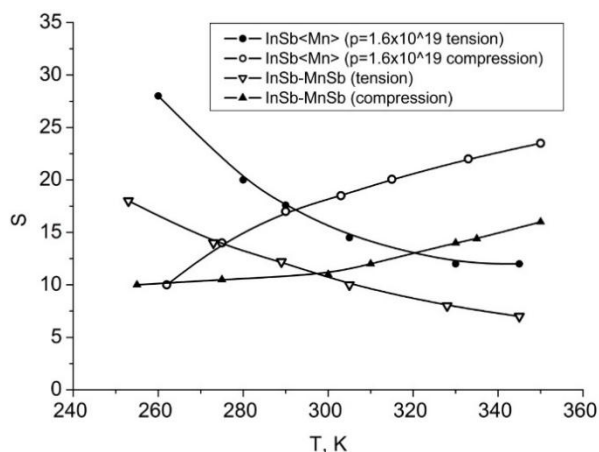


Рис.2 Температурные зависимости коэффициента тензочувствительности тензорезисторов: p- InSb с концентрацией $1.6 \times 10^{19} \div 6 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и эвтектики InSb-MnSb

На рис.1 представлены деформационные характеристики тензорезисторов на основе эвтектики InSb-MnSb при различных температурах. Как видно, деформационные характеристики несимметричны, т.е. характер изменения сопротивления при сжатии и растяжении различен, в отличие от результатов наших исследований тензометрических характеристик эвтектических композитов GaSb-FeGa_{1.3}, GaSb-CoGa [5,7] что, по-видимому, связано с особенностями структуры валентной зоны матрицы InSb. Поэтому исследование влияния деформации на электрические

свойства p-InSb в широком интервале концентраций может дать дополнительные сведения.

Известно, что валентная зона p- InSb с сферической поверхностью энергии состоит, как и в GaSb, в основном, из двух ветвей энергии- зоны тяжелых и легких дырок, касающихся в точке K=0. Как показано в [7], с ростом концентрации носителей заряда ввиду непараболичности зоны легких дырок отношение концентраций тяжелых и легких дырок заметно уменьшается и вклад легких дырок в проводимость может быть существенным.

Результаты исследований показали, что в образцах с концентрацией дырок до $6 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ зависимость тензочувствительности от температуры линейна и при деформации растяжения ослабевает сильнее, чем при деформации сжатия. На рис.2 представлены температурные зависимости коэффициента тензочувствительности S(T) только для p- InSb с концентрацией дырок $1.6 \times 10^{19} \div 6 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и эвтектики InSb-MnSb в интервале температур 250÷350К. Из рисунка видно, что в образцах p- InSb температурный коэффициент тензочувствительности меняет знак. Как отмечено выше, с ростом концентрации носителей заряда вклад лёгких дырок в проводимость растёт. С другой стороны, анизотропная деформация кристалла, нарушая симметрию поля решетки, приводит к снятию вырождения потолка зон тяжёлых и лёгких дырок и к их смещению на различную величину и в разные стороны. При сжатии зоны лёгких и тяжёлых дырок приближаются, а при растяжении удаляются, что приводит к изменению числа лёгких и тяжёлых дырок, обладающих различными эффективными массами ($m_l^*/m_h^* \approx 40$), дающих различный вклад в проводимость. Это приводит в свою очередь к изменению сопротивления даже при сохранении общего количества дырок. Следовательно, вклад лёгких дырок в проводимость в зависимости от деформации сжатия и растяжения может увеличиваться или уменьшаться. Таким образом, наблюдаемое на эксперименте различие в величинах коэффициента тензочувствительности p-InSb при растяжении и сжатии и несимметричность деформационных характеристик тензорезисторов на основе композита InSb-MnSb при сжатии и растяжении связана с особенностями структуры валентной зоны p-InSb.

Изготовленные тензорезисторы были испытаны на стабильность, старение, цикличность и долговечность. Исследования были проведены на частоте 50Гц и при знакопеременной деформации $\pm 100 \cdot 10^{-5}$ отн. ед. Через определённое число циклов коэффициент тензочувствительности оставался неизменным. Изменение сопротивления до и после испытаний оставалось в пределах 1%. Наблюдаемое в некоторых образцах резкое увеличение коэффициента тензочувствительности после $1 \cdot 10^{+5}$ циклов могло быть связано с появлением трещин или нарушением контакта. Исследование тензорезисторов на старение в течение 10 месяцев показали стабильность их параметров. Проведённые исследования привели к созданию оригинальных тензорезисторов на основе эвтектики InSb-MnSb с коэффициентом

тензочувствительности ~ 35 в рабочем диапазоне температур $-60+115^{\circ}\text{C}$ с линейными, без гистерезисными, термостабильными характеристиками.

Как было отмечено выше, температурный коэффициент тензочувствительности $p\text{-InSb}$ с

концентрацией носителей тока $p \geq 6 \cdot 10^{18}$ в зависимости от деформации сжатия или растяжения может быть как положительным, так и отрицательным, что явилось основой для создания тензодатчика с термокомпенсированной тензочувствительностью.

-
- [1] *М.И. Алиев, И.Х. Мамедов, Д.Г. Араслы, А.А. Халилова, Р.Н. Рагимов, Р.М. Джаббаров*, Электрофизические свойства эвтектических композитов InSb-MnSb и GaSb-FeGa_{1.3}. Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, physics and astronomy, 2014, 34, 5, 30-37
- [2] *М.И. Алиев, И.Х. Мамедов, А.А. Халилова, Р.Н. Рагимов, Д.Н. Араслы*, Structural features and electrical conductivity of the GaSb-FeGa_{1.3} and GaSb-CoGa_{1.3} eutectic composites. Moldavian Journal of the Physical Sciences, 2012, Vol. 11, N3 157-162
- [3] *I. Kh. Mammadov, D. H. Arasly, A. A. Khalilova and R. N. Rahimov* Anisotropic Electrical Properties of a Eutectic InSb + MnSb Composite, Inorganic Materials, 2016, Vol. 52, No. 4, pp. 423-428
- [4] *М.И. Алиев, И.Х. Мамедов, А.А. Халилова, Д.Г. Араслы, Р.Н. Рагимов*. Тензорезистивные характеристики эвтектической композиции GaSb-FeGa_{1.3}. Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi Məqmuələri, 2004, 2, 115-127
- [5] *М.И. Алиев, А.А. Халилова, Д.Н. Араслы, Р.Н. Рагимов, М. Таноглу, Л. Озюзер* Strain gauges of GaSb-FeGa_{1.3} eutectic composites. Appl.Phys.:A, 2004, 79, No 8, 2075-2079
- [6] *М.И. Алиев, А.А. Халилова, Д.Г. Араслы, Р.Н. Рагимов, М. Таноглу, Л. Озюзер*. Тензорезисторы на основе GaSb, легированного марганцем. Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, physics and astronomy, 2003, 23, 5, 93-96
- [7] *И.Х. Мамедов, А.А. Халилова, Р.Н. Рагимов, Д.Г. Араслы, М.И. Алиев* Термостабильные тензорезисторы на основе эвтектического композита GaSb-CoGa_{1.3}. Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi Məqmuələri, 2012, 14, №1, 6-11