

05.2; 06.2; 12

УПРАВЛЕНИЕ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОЛУПРОВОДНИК-МЕТАЛЛ

© Г.И.Исаков

В настоящее время применяются как металлические, так и полупроводниковые тензорезисторы. Достоинством металлических тензорезисторов являются их малые температурные коэффициенты тензочувствительности ($\gamma = 0.002-0.003\%$ град) и линейные деформационные характеристики в больших интервалах температур и деформаций. Основным недостатком металлических тензорезисторов являются малые значения тензочувствительности ($S = 2-3$), затрудняющие их промышленные внедрения и требующие дополнительных устройств для регистрации выходных сигналов.

В полупроводниках тензочувствительность на 2 порядка больше, чем в металлах и регистрация выходных сигналов не требует дополнительных устройств. Основными недостатками полупроводниковых тензорезисторов являются большой температурный коэффициент тензочувствительности ($\gamma = 0.25-0.7\%$ град) и их хрупкость. Поэтому возникает объективный поиск материалов, устраняющих недостатки металлических и полупроводниковых тензорезисторов и оптимально сочетающих их достоинства. Такими материалами оказались направленно-кристаллизованные эвтектические композиции типа полупроводник-металл [1,2].

Нами исследован тензоэффект в эвтектической композиции полупроводник-металл ($\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$), где при направленной кристаллизации металлическая фаза V_2Ga_5 в полупроводниковой матрице GaSb формируется в виде длинных параллельных стержней. Измерения проводились при различных углах между направлением электрического тока и металлических стержней с соблюдением параллельности стержней к уругой подложке.

Из сплавов эвтектической композиции $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$ были изготовлены тензорезисторы, длинные оси которых имели углы с направлением металлических стержней со следующими значениями $\alpha = 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$. Тензорезисторы подвергались деформации растяжения и сжатия.

На рис. 1 приведены температурные зависимости коэффициента тензочувствительности S при различных углах

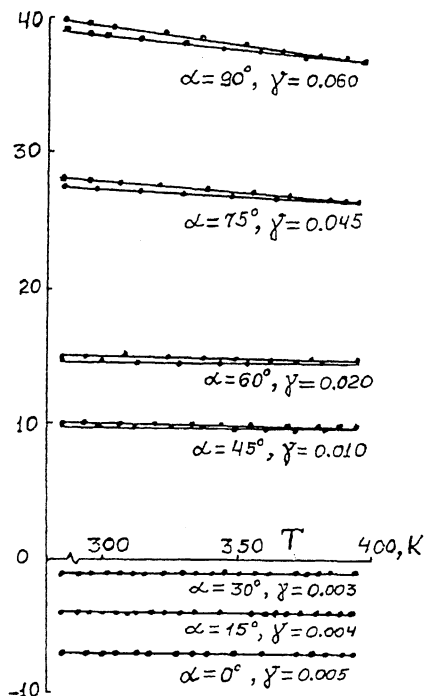


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента тензочувствительности тензорезисторов из GaSb-V₂Ga₅ при различных углах α между направлением электрического тока и металлических стержней, γ — температурный коэффициент тензочувствительности.

между направлением электрического тока и металлических стержней, вычисленные по формуле

$$S = (\sigma_0 - \sigma) / \sigma_0 \cdot \epsilon, \quad (1)$$

где σ_0 — электропроводность без деформации, σ — электропроводность после деформации, ϵ — относительная деформация.

Из рис. 1 видно, что во всех углах α температурная зависимость тензочувствительности линейна и с уменьшением α до 30° температурный коэффициент тензочувствительности уменьшается. Вблизи $\alpha = 30^\circ$ происходит инверсия знака коэффициента тензочувствительности. Для каждого угла были вычислены температурные коэффициенты тензочувствительности по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta S}{S \cdot \Delta T} \cdot 100\%. \quad (2)$$

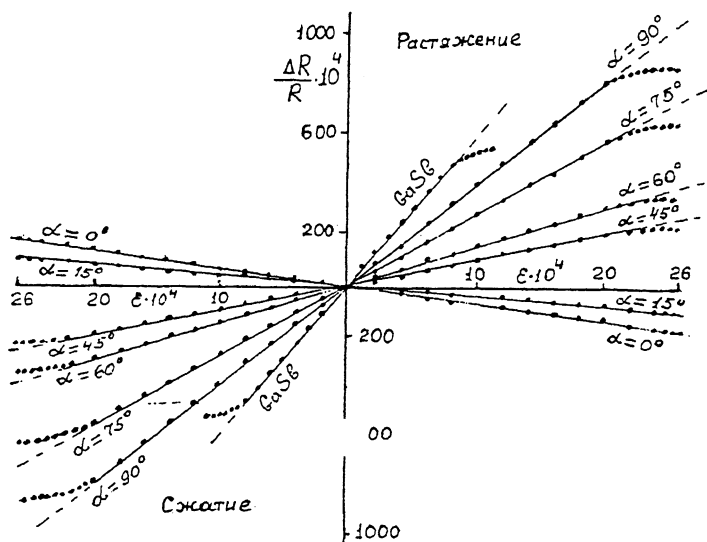


Рис. 2. Деформационные характеристики GaSb и эвтектической композиции GaSb-V₂Ga₅ при различных углах α при деформации растяжения и сжатия. ($\Delta R/R$ — относительное изменение сопротивления).

На рис. 2 представлены деформационные характеристики $\Delta R/R \sim f(\epsilon)$ гомогенного антимонида галлия (GaSb) и эвтектической композиции GaSb-V₂Ga₅ при различных углах вырезки в интервале $\epsilon = 0 - 2.6 \cdot 10^{-3}$ отн. ед при деформации растяжения и сжатия. Видно, что деформационные характеристики всех тензорезисторов до достижения предела упругости линейны и симметричны.

Интересной особенностью деформационной характеристики этих тензорезисторов является в 2.5 рзра расширение интервала упругости тензорезисторов даже в случае перпендикулярности электрического тока к металлическим стержням по сравнению с GaSb и смещение этого интервала в область больших деформаций с уменьшением угла.

По модели Б.И. Оделевского [3] обобщенные проводимости направленно-кристаллизованных композиций выражаются формулами

$$\sigma_{\perp} = \sigma_p \left[1 + \frac{\Psi}{(1 - \psi)/2 + \sigma_p / (\sigma_m - \sigma_p)} \right], \quad (3)$$

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_p \left[1 + \frac{\Psi}{\sigma_p / (\sigma_m - \sigma_p)} \right], \quad (4)$$

где Ψ — объемное отношение фаз; σ_p — электропроводность полупроводниковой матрицы; σ_m — электропроводность металлической фазы; σ_{\parallel} и σ_{\perp} — обобщенные электропроводности эвтектической композиции соответственно по направлению кристаллизации и перпендикулярно направлению кристаллизации.

Можно показать, что при произвольном направлении обобщенная электропроводность выражается формулой

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{\perp} \sin^2 \alpha + \sigma_{\parallel} \cos^2 \alpha. \quad (5)$$

При малом объемном отношении фаз ($\Psi = 0.04$) и

$$\sigma_{\alpha} \approx \sigma_p + \Psi \sigma_m \cdot \cos^2 \alpha. \quad (6)$$

Учитывая выражение σ_{α} в формуле (1), получаем выражение для коэффициента тензочувствительности при произвольном направлении

$$S_{\alpha} \approx \frac{S_p \sigma_{p0} + S_m \Psi \sigma_{m0} \cos^2 \alpha}{\sigma_{p0} + \Psi \sigma_{m0} \cos^2 \alpha}. \quad (7)$$

Видно, что при $\alpha = 90^{\circ}$ $S_{90^{\circ}} = s_p \approx 40$, при $\alpha = 0^{\circ}$, учитывая, что $\Psi \sigma_{m0} \gg \sigma_p$, и $S_{0^{\circ}} \approx S_p \sigma_{p0} / \Psi \sigma_{m0} + S_m$. Оценки показывают, что $S_{0^{\circ}} \leq 5$. Уменьшение коэффициента тензочувствительности по мере уменьшения угла (α) связано с увеличением вклада электропроводности металлических включений в обобщенную проводимость. По-видимому, инверсия знака коэффициента тензочувствительности с уменьшением угла связана с различными знаками коэффициента тензочувствительности полупроводниковой матрицы и металлической фазы.

Из рис. 1 видно также, что при $\alpha = 0^{\circ}$ температурный коэффициент тензочувствительности $\gamma = 0.005\%$ град приобретает почти такое же значение, как и в металлах. Однако несмотря на то, что при $\alpha = 0^{\circ}$ электрический ток переносится в основном металлическими включениями, значение коэффициента тензочувствительности композиции значительно превышает коэффициент тензочувствительности проволочных тензорезисторов из металла. Очевидно, это обусловлено тем, что в эвтектической композиции металлические стержни являются нитевидными монокристаллами.

Следует отметить, что угловая зависимость коэффициента тензочувствительности композиции аналогична концентрационной зависимости тензочувствительности полупроводниковой матрицы. Однако результаты данного исследования позволяют создать целый набор тензочувстви-

тельных элементов из одного материала с заданными характеристиками, такими как величина коэффициента тензочувствительности, температурный коэффициент тензочувствительности, деформационная характеристика, от металла до полупроводника.

В конце работы хочу выразить благодарность М.И. Алиеву и З.А. Джафарову за полезные советы при обсуждении данной работы.

Список литературы

- [1] Алиев М.И., Джафаров З.А., Исаков Г.И. и др. // Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы. 1989. Т. 25. С. 1041-1042.
- [2] Алиев М.И., Джафаров З.А., Агасиев А.Э. и др. // Материалы 4-го Всесоюз. семинара по физике прочности композиционных материалов. Л., 1980. С. 134-136.
- [3] Оделевский Б.И. // ЖТФ. 1951. Т. 21. В. 6. С. 667-677.

Институт физики
АН Азербайджанской
Республики

Поступило в Редакцию
16 июля 1996 г.