

УДК 537.324.621.362

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Н. С. ЛИДОРЕНКО, О. Б. СОКОЛОВ,
А. С. КАГАН, И. М. РОМБЕ, А. А. ВАГИН

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ $\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$

Пластическая деформация твердых растворов на основе теллурида висмута повышает их электрофизические параметры ⁽¹⁾. В связи с большой перспективностью этого процесса, как эффективного способа изменения и управления свойствами низкотемпературных ветвей термоэлементов, представляет интерес подробное исследование свойств и структуры сплава $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$ после деформаций различных степеней и видов.

Для исследования использовался материал *p*-типа следующего состава: 74 мол. % Sb_2Te_3 , 26 мол. % Bi_2Te_3 , 3 вес. % Te , легированный Pb до концентрации носителей, соответствующей значению термо-э.д.с. ~ 200 $\mu\text{В}/^\circ\text{C}$, дисперсность $-0,5$ м. Исходная заготовка получалась методом брикетирования в закрытой матрице при давлении 8 т/см² с последующим спеканием в вакууме в течение 8 час. при температуре 380° С. Деформирование осуществлялось двумя путями. 1. Осадка в условиях трехстороннего сжатия при повышенной температуре. 2. Экструзия на гидравлической испытательной машине ПММ-125 также при повышенной температуре. В обоих случаях удается добиться значительной пластической деформации без разрушения обычно хрупких полупроводниковых материалов: при осадке изменение поперечного сечения до 70%, при экструзии — удлинение до 98%.

Деформация и последующий отжиг значительно изменяют электрофизические свойства (рис. 1, 2).

Как показывают наши измерения, эффективная масса m^*/m_0 при деформации и отжиге не меняется, следовательно, изменение подвижности носителей обусловлено рассеянием на точечных дефектах. Изменение концентрации носителей также может быть связано с возникновением точечных дефектов донорного и акцепторного типов ⁽²⁾. Однако сами точечные дефекты при пластической деформации исследованных полупроводников, насколько нам известно, экспериментально не определялись, их существование может быть обнаружено рентгенографически по искажениям III рода.

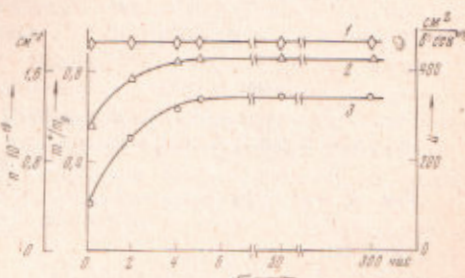


Рис. 1. Изменение эффективной массы m^*/m_0 (1), концентрации n (2) и подвижности носителей заряда μ (3) при отжиге при 350° после экструзии (измерения вдоль направления выдавливания)

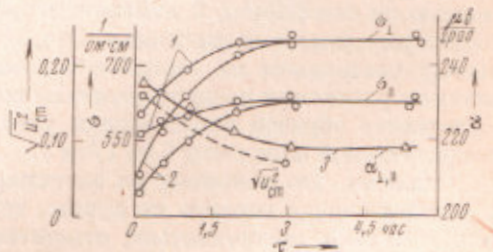


Рис. 2. Изменение электропроводности σ (1, 2) и термо-э.д.с. α (3) при отжиге после деформации в обойме при измерении вдоль (||) и поперек (⊥) направления осадки. Степень деформации ε (1) 1 — 40%; 2 — 70%

Измерение относительных интенсивностей для исследования искажений III рода в данном случае затруднительно из-за текстуры. В осажженных образцах имеется аксиальная текстура с осью [001] (рис. 3) вдоль направления осадки, а в экструдированных образцах вдоль направления экструзии располагается ось [110] (рис. 4).

Для измерения интенсивности при наличии текстуры был применен разработанный в (3) метод бестекстурной съемки. Определялась относительная интенсивность линий (220) и (110) образцов до осадки, после осадки и после отжига при 350° в течение 3 час.

Полученные данные свидетельствуют о возникновении при деформации точечных дефектов, частично снимаемых при отжиге. Относительная интенсив-

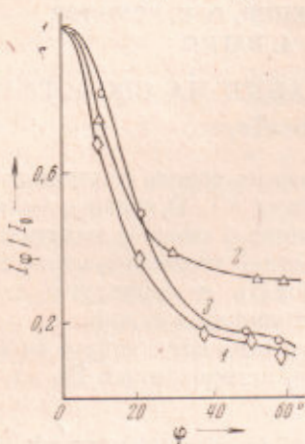


Рис. 3

Рис. 3. Распределение нормалей [001] в зависимости от угла φ относительно нормали к поверхности образца при осадке. Степень деформации ϵ : 1—0; 2—40%; 3—70%.

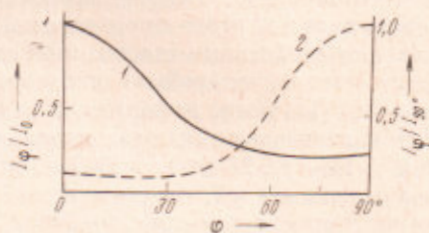


Рис. 4

Рис. 4. Распределение нормалей в зависимости от угла относительно оси экструзии: 1—[110]; 2—[001].

ность I_{220}/I_{110} в исходном образце равна 0,48, после осадки 0,37 и после отжига 0,44. Величины параметра статических искажений $\sqrt{\bar{u}_{ст}^2}$ показаны на рис. 2. (Вычисление концентрации точечных дефектов по этим данным затруднительно, так как неизвестно, к вакансиям и внедрению каких атомов их следует относить.)

Интересно, что статические искажения при трехчасовом отжиге полностью не снимаются, а изменение проводимости σ при этом выше, чем в недеформированном состоянии. Это, очевидно, объясняется конкуренцией между рассеянием на частично оставшихся точечных дефектах и уменьшением рассеяния из-за уплотнения сплава при пластической деформации (плотность образца после осадки увеличивается с 6,18 до 6,86 г/см³ при теоретической плотности 6,90 г/см³).

Отметим, что поправку на экстинкцию при измерении интенсивностей в данном случае вносить не нужно, так как при отжиге, где экстинкция может только увеличиваться, отношение интенсивностей приближается к его значению в исходном образце. При отжиге происходит резкий рост размера блоков (сужение линий рентгенограммы), что могло бы увеличить первичную экстинкцию. Текстура во всех случаях остается примерно одинаковой, что означает одинаковые разориентировки и одинаковую вторичную экстинкцию, если она существует. Следовательно, уменьшение I_{220}/I_{110} при деформации можно объяснить только искажениями III рода.

Отметим, что изменение свойств, измеренных вдоль (||) и поперек (⊥) направления осадки (рис. 2) хорошо согласуется с видом текстуры в этих материалах. Действительно, σ вдоль плоскости (001) больше, чем в перпендикулярном направлении (*), а в данном случае плоскости (001) преимущественно располагаются вдоль поверхности образца. При деформации с большими степенями текстура остается той же самой, но наличие дефек-

тов, вызывающих некоторое уменьшение концентрации носителей и подвижности, уменьшает наряду со снижением абсолютной величины проводимости и ее анизотропию. При отжиге из-за снятия дефектов увеличивается проводимость, и восстанавливается анизотропия свойств. Между текстурой и анизотропией свойств имеется не только качественная, но и количественная связь. Так, количество текстурованного материала, оцененное в соответствии с методикой ⁽⁵⁾ по текстурограммам в исходной заготовке и после осадки с последующим отжигом, примерно одинаково и равно 35—40 %, при этом $\sigma_{\parallel}$ и $\sigma_{\perp}$ различаются также на 30 %. Количество текстурованного материала после экструзии около 80 %, а σ вдоль и поперек оси экструзии различается в 2 раза. В монокристалле данного состава σ вдоль и перпендикулярно плоскости (001) различается почти в 3 раза.

Отметим, наконец, что сами текстуры и их изменение в процессе деформации полностью объясняются протеканием пластической деформации. Так, изменение текстуры в зависимости от степени деформации при осадке объясняется тем, что пластическое течение в зернах, ориентированных осью [001] перпендикулярно поверхности образца, т. е. входящих в текстурную ориентировку, происходить не может. Происходит деформация зерен с другими ориентировками и поворот их, сопровождающийся поворотом связанных с ними соседних зерен, в связи с чем при малых степенях деформации исходная текстура разрушается (размывается). При деформации большей степени образуется текстура, соответствующая деформации осадкой гексагональных поликристаллов ⁽⁶⁾, совпадающая в данном случае с исходной текстурой «укладки» ⁽⁷⁾ исследуемого материала. Текстура экструдированных материалов, меняющаяся от [001] перпендикулярно поверхности исходного образца на ось [110] вдоль оси экструзии, также соответствует текстуре гексагональных поликристаллов при вытяжке ⁽⁸⁾.

Выражаем благодарность Н. В. Коломойцу и Л. Д. Дудкину за ценное обсуждение результатов.

Поступило
3 VII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Ю. Бейлин, В. И. Бутырский и др., Гелиотехника, № 4 (1969).
² J. M. Schulz, J. Appl. Phys., 33, 2443 (1962). ³ А. С. Каган, ЖТФ, 33, № 12 (1963). ⁴ Б. М. Гольцман, И. А. Смирнов, В. кн.: Материалы, используемые в полупроводниковых приборах, М., 1968. ⁵ А. С. Каган, Физ. мет. и металловед., 20, № 6 (1965). ⁶ Ч. С. Баррет, Структура металлов, 1948. ⁷ Н. С. Лидеренко, А. С. Каган и др., Порошковая металлургия, № 10 (1969).