

- [7] L a m o u r e u x M., P r a t t R.H. In: Proc. 2-nd Int. Conf. on Radiative Properties of Hot Dense Matter, 1983. P. 241-265.
- [8] P r a t t R.H. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 1987. V. B27. P. 527-536.

Институт высоких температур
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
13 февраля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 10

26 мая 1989 г.

05.01; 05.03

ПОЛИМОРФНЫЙ ПЕРЕХОД В АМОРФНОМ СПЛАВЕ
 $Co_{58}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{16}$ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ
НАГРУЖЕНИИ

А.З. Б о г у н о в, В.И. К и р к о,
А.А. К у з о в н и к о в

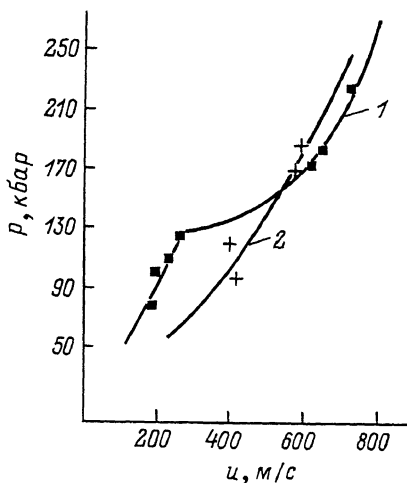
Установлено, что ударно-волновое нагружение вносит изменения в структуру металлических стекол. Эти изменения обнаружены на масштабах первой координационной сферы ($\sim 10 \text{ \AA}$), на масштабах флуктуации плотности ($\sim 10^2 - 10^3 \text{ \AA}$), а также на масштабах технологических неоднородностей ($\sim 1 \text{ мкм}$) [1]. Изменения в структуре аморфных металлических сплавов (АМС) должны отражаться на их динамических характеристиках. В работе представлены первые результаты по определению ударной адиабаты сплава $Co_{58}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{16}$.

АМС обычно изготавливают в виде тонких лент, проволок, порошка. Поэтому существуют трудности при измерении параметров ударного сжатия, обусловленные малой толщиной образцов.

Исследуемые образцы были получены методом взрывного компактирования порошка, который изготавливался путем размола ленты, предварительно охрупченной при $450 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение одного часа. Частицы порошка имели форму чешуек с линейным размером от 100 до 225 мкм и толщиной 30 мкм. Образцы представляли собой диск размером $d \sim 18 \text{ мм}$, толщиной $h \sim 2.5 - 3 \text{ мм}$, с плотностью $\rho \sim 7.4 \text{ г/см}^3$, практически совпадающей с плотностью ленты. Параметры нагружения обеспечивали равномерную пропрессовку образцов по всей толщине; сохранение аморфности контролировалось.

Экспериментальная схема определения параметров ударного сжатия аналогична описанной в [2]. Манганиновый датчик давления располагался в экране и регистрировал проходящую и отраженную от исследуемого образца волну. Причем отраженная волна могла быть как волной сжатия, так и волной разрежения, в зависимости от соотношения акустической жесткости образца и экрана. По величине этих давлений и с использованием известной ударной адиабаты экрана определялась ударная адиабата аморфного сплава.

Рис. 1. Ударные адиабаты в $P-U$ координатах. ■ - аморфный сплав, + - закристаллизованный сплав.



Нагружение осуществлялось ударником, метаемым генератором плоской волны. Величина давления варьировалась посредством изменения скорости метаемой пластины, а также путем изменения материала экрана. В качестве экрана использовались вещества с известной ударной адиабатой (фторопласт, медь, алюминий). Для контроля методики измерялась ударная адиабата меди.

Наблюдалось хорошее совпадение полученных результатов и опубликованных данных [3].

Результаты экспериментов по определению ударной адиабаты сплава $Co_{58}-Ni_{10}-Fe_5-Si_{11}-B_{16}$ представлены в $P-U$ координатах на рис. 1 (кривая 1). Эти данные свидетельствуют о существовании излома на адиабате АМС. С целью анализа структуры ударно-волнового фронта, отвечающего излому кривой 1, измерялось давление непосредственно в образце из АМС. При давлении 180 кбар профиль фронта ударной волны в АМС представлял собой двухволновую конфигурацию рис. 2,а. Амплитуда давления первой волны соответствовала излому на ударной адиабате.

Посредством отжига структура исходного образца была переведена из аморфного в кристаллическое состояние. При выбранных параметрах отжига ($\sim 700^\circ C$, выдержка 1 час) кристаллический сплав являлся гетерофазным, с фазовым составом, близким к равновесному (Co, Co_2B, Co_2Si и т.д.). Ударная адиабата закристаллизованного сплава приведена на рис. 1 (кривая 2). При давлениях выше 160 кбар адиабаты аморфного и закристаллизованного сплавов совпадают в пределах точности эксперимента, а при низких давлениях существенно различаются, излом на кривой 2 отсутствует. В закристаллизованном сплаве при интенсивности ударной волны 180 кбар регистрировался одноволновой профиль фронта ударной волны (рис. 2,б). Одной из причин наблюдающегося излома на ударной адиабате АМС может явиться специфика технологий приготовления образца. Действительно, т.к. соответствующие давления достаточно высоки и материал находится в пластическом состоянии, происходит затекание его в поры. Однако остаточная пористость прессовок не превосходила 0.2%, а уменьшение удельного объема вследствие излома кривой 1 составляет 15-20%. Кроме того, из рис. 1 видно, что ход кривых 1 и 2 существенно различен, хотя

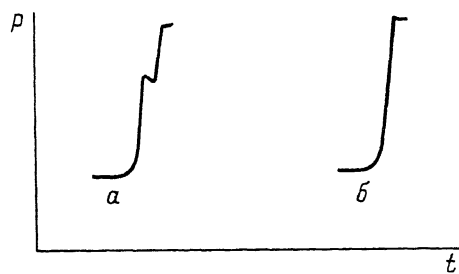


Рис. 2. Профиль фронта ударной волны в а) аморфном сплаве, б) закристаллизованном сплаве.

пористости образцов близки, а механические свойства (твердость, предел текучести) аморфного и закристаллизованного сплавов отличаются незначительно.

Можно сделать вывод о том, что излом на кривой 1 обусловлен аморфностью структуры сплава, а не связан с технологией приготовления образцов путем динамического компактирования порошка. Следовательно, при ударно-волновом нагружении в интервале давлений 140–160 кбар происходит перестройка аморфной структуры в сторону уменьшения удельного объема. Ранее [1] при исследованиях ленточных образцов после нагружения обнаружено некоторое уплотнение АМС после обработки, которое связывают с захлопыванием части избыточного свободного объема. Однако известно, что величина избыточного свободного объема не превосходит 0.5% от удельного объема сплава. Величина же изменений объема, соответствующая излому кривой 1, существенно больше. Причиной эффекта является перестройка ближнего порядка в структуре, которая может идти с сохранением аморфного состояния, либо с формированием мелкокристаллической структуры. В последнем случае важным структурочувствительным фактором может быть изменение электросопротивления, уменьшающегося при кристаллизации в 1.5–2 раза. С этой целью измерялось электросопротивление ленточного образца АМС $Co_{58}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{16}$ в ходе нагружения давлением 300 кбар. Установлено, что такие изменения электросопротивления, которые можно было бы связать с переходом аморфной структуры в кристаллическое состояние, отсутствуют. Изучение образцов методом дифференциально-термического анализа до и после нагружения давлением 300 кбар показало, что температура и теплота кристаллизации не изменились. Это указывает на обратимость структурной перестройки, внесенной ударно-волновым нагружением.

Таким образом, на ударной адиабате аморфного сплава $Co_{58}Ni_{10}Fe_5Si_{11}B_{16}$ обнаружен излом, подобный наблюдающемуся в случае фазового превращения в кристаллических материалах. На основании экспериментальных результатов излом можно связать с возможным обратимым полиморфным превращением в аморфной фазе. Ранее такая возможность теоретически обсуждалась в [4], однако отсутствовало экспериментальное подтверждение этому явлению.

- [1] И с х а к о в Р.С., К и р к о В.И., К у з о в н и -
к о в А.А. и др. Труды IХ NERF, Новосибирск, 1986.
С. 70-74.
- [2] Г о г у л я Н.Ф., В о с к о б о й н и к о в И.М., П р о -
с т о с е р д о в А.И. // ФГВ. 1985. № 3. С. 110-113.
- [3] Б а у м Ф.А., О р л е н к о Л.П., С т а н ю к о в и ч К.П.
и др. // Физика взрыва. М.: Наука, 1975. 704 с.
- [4] К и р к о В.И., К у з о в н и к о в А.А. // ФГВ. 1988.
№ 6. С. 19-24.

Красноярский государственный
университет

Поступило в Редакцию
8 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 10 26 мая 1989 г.
06.2; 11

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕКОМБИНАЦИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН В РЭМ
С СВЧ-ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

А.Е. Л у к ь я н о в, А.А. П а т р и н,
А.М. Я н ч е н к о

Электрически активные неоднородности в полупроводниковых пластинах и структурах традиционно выявляются в растровом электронном микроскопе, работающем в режиме наведенного тока (см., например, [1]). Для осуществления таких измерений в пластине, на их поверхности формируют энергетический барьер (например, барьер Шоттки или р-п переход). Технологические операции формирования барьера, как правило, являются разрушающими. Кроме того, чувствительность к рекомбинационно-активным центрам в барьерных структурах снижается вследствие особенностей процессов миграции носителей к барьеру и условий разделения на нем.

Нами выполнены эксперименты на примере кремния по визуализации чисто рекомбинационной неоднородности в пластинах, не содержащих барьерных структур. Эксперименты базируются на описанной в работах [2-4] СВЧ-методике и аппаратуре анализа рекомбинационных параметров полупроводниковых пластин. В данном случае электронный зонд сканирующего электронного микроскопа *JSM-V-3*, прерываясь во времени с частотой 500 Гц, обеспечивал генерацию неравновесных носителей заряда в кремниевой пластине на участке $\sim 2 \text{ мм}^2$ на глубину до 9 мкм. Пластина закрывала отверстие малогабаритного СВЧ-преобразователя трехсантиметрового диапазона, введенного в камеру РЭМ. Переменный из-за модуляции электропроводности СВЧ-сигнал, пропорциональный