

9. Говор Г.А. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 12. С. 3510.

10. Schunemann J.-W., Lange A., Góvor G.A. et al. // J. Alloys and Compounds. 1992. Vol. 178. P. 237.

Поступила в редакцию 11.11.2002.

Геннадий Антонович Говор – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Института физики твердого тела НАН Беларуси.

Валерий Михайлович Добрянский – доктор технических наук, профессор кафедры общей физики БГПУ им. М. Танка.

УДК 669.04:548.735

А.Г. АНИСОВИЧ, О.Н. ШАХРАЙ, В.Г. ШЕПЕЛЕВИЧ

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕЙ ФОЛЬГИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Pb – Cd

Quickly quenched foils of Pb – Cd system have the microcrystalline structure and texture (111). Microhardness of the alloy depends on the impurity type and annealing temperature.

Развитие техники обусловило широкое применение пайки в различных областях промышленности, в первую очередь в машиностроении, электронике и электротехнике. В связи с этим большой интерес представляют легкоплавкие припои, в частности на основе свинца. Технологические характеристики припоев зависят от дисперсности их структуры, распределения компонентов, прочности, пластических свойств. В настоящее время разработано новое направление в исследовании и получении материалов с благоприятным сочетанием различных свойств – сверхбыстрая закалка из расплава, при которой скорость охлаждения достигает 10^5 К/с и выше. При использовании этого метода удастся создать структуру, которую невозможно получить с помощью традиционной термической обработки. К сожалению, таких исследований на свинце и его сплавах проведено недостаточно. Следует ожидать, что полученные сверхбыстрой закалкой материалы имеют не только мелкодисперсную, но и более однородную структуру по сравнению с массивными образцами, что является одним из главных требований, предъявляемых к припоям. Авторами данной статьи были проведены исследования структуры и свойств быстрозатвердевшей фольги свинца и его сплавов с кадмием, а также их изменений при отжиге.

Быстрозатвердевшая фольга системы Pb – Cd, содержащая до 28 ат. % Cd, образовалась при затвердевании капли расплава ($\approx 0,2$ г), инжескированной на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Образцы представляли собой тонкую фольгу. Ее сторона, контактирующая с кристаллизатором, имела гладкую блестящую поверхность, а противоположная, контактирующая с атмосферой, была бугристой. Для выявления специфики быстрозатвердевшей фольги были получены литые массивные образцы того же состава. Металлографический анализ проводили на микроскопе Neophot-21. Для выявления структуры использовали раствор соляной кислоты в воде. Рентгеноструктурные исследования выполняли на дифрактометре ДРОН-2 в медном излучении ($\lambda=1,54$ Å). Текстуру фольги исследовали методом обратных полюсных фигур, полюсную плотность ρ_{hkl} дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитывали по методу Харриса [1]. При этом рентгеновское излучение падало либо на

поверхность фольги, которая имела контакт с кристаллизатором (тип А), либо на противоположную сторону, контактирующую с атмосферой (тип Б). Микротвердость измеряли с помощью прибора ПМТ-3 (относительная ошибка измерения составляла 3 %).

Быстрозатвердевшая фольга свинца и сплавов системы Pb – Cd имеет микрокристаллическую структуру. Если в массивном образце чистого свинца размер зерна достигает 80 мкм, то в быстрозатвердевшей фольге не превышает 10 мк. При этом легирование свинца кадмием приводит к уменьшению среднего размера зерна. Для сплава Pb-10 ат. % Cd средний размер выделенных мелкодисперсных частиц второй фазы (твердого раствора на основе кадмия) в массивном образце составляет 25 мкм, а в быстрозатвердевшей фольге – 7 мкм.

В табл. 1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий для обеих сторон (типы А и Б) исследуемой фольги. Наибольшим значением данного показателя характеризуется линия 111: 65–85 % (тип А) и 30–55 % (тип Б) объема фольги.

Таблица 1

Полюсные плотности дифракционных линий быстрозатвердевшей фольги сплавов системы Pb – Cd

Состав и тип фольги	Дифракционная линия					
	111	200	220	311	331	420
Pb (А)	4,4	0,9	0,1	0,3	0,1	0,2
Pb (Б)	3,4	1,6	0,4	0,3	0,1	0,1
Pb-5 ат. % Cd (А)	4,0	0,5	0,4	0,6	0,2	0,3
Pb-10 ат. % Cd (А)	4,0	0,5	0,4	0,5	0,2	0,4
Pb-10 ат. % Cd (Б)	1,7	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7
Pb-20 ат. % Cd (А)	4,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
Pb-20 ат. % Cd (Б)	1,8	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7
Pb-28 ат. % Cd (А)	4,4	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1
Pb-28 ат. % Cd (Б)	1,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7

Известно [1], что в слитке свинца и его сплавах, получаемых традиционными методами, формируется текстура (100), а в пленках чистого свинца, полученных в сильно неравновесных условиях, – текстура (111). Из плоскостей {111} и {100} наиболее плотноупакованными являются первые, а наименьшей поверхностной энергией характеризуются вторые. Поэтому в условиях кристаллизации, близких к равновесным, энергетически выгодным является формирование текстуры (100). При затвердевании в сильно неравновесных условиях текстура определяется теми зернами, у которых в случае плоского фронта кристаллизации межфазная граница кристалл – жидкость совпадает с плоскостью, растущей с наибольшей скоростью. В работе [2] определены энергетические барьеры перемещения этой границы для различных плоскостей. Согласно выполненным расчетам, энергетический барьер перемещения межфазной границы, совпадающей с плоскостями {111}, меньше, чем с плоскостями {100}. Вследствие этого при быстром затвердевании в наибольшей степени растут зерна, у которых плоскости {111} перпендикулярны направлению теплоотвода, формируя тем самым текстуру (111) в фольге свинца и его сплавах с кадмием. Следует отметить, что аналогичная текстура (111) характерна и для сплавов на основе алюминия [3].

Измерения микротвердости (в зависимости от концентрации кадмия) проводились как для массивных сплавов, так и для фольги системы Pb – Cd

(рис. 1). При этом микротвердость фольги всех исследуемых сплавов меньше микротвердости массивных образцов и увеличивается с ростом процентного содержания легирующего элемента.

Повышение микротвердости свинца при легировании кадмием объясняется образованием твердого раствора на основе свинца и выделением мелкодисперсных частиц второй фазы на основе кадмия. Меньшее значение микротвердости фольги, чем массивных образцов, связано с измельчением зеренной структуры. Известно [4], что в металлах границы зерен при температуре $T \approx 0,5 T_m$ и выше (T_m – температура плавления по шкале Кельвина) являются разупрочненными зонами, и возможно зернограницное проскальзывание. Благодаря этому фольга более пластична, чем массивные образцы.

Быстрозатвердевшая фольга свинца и его сплавов с кадмием находится в неустойчивом состоянии: так, отжиг фольги свинца при 240 °С в течение 1 ч приводит к увеличению среднего размера зерна до 12 мкм, что указывает на протекание процессов рекристаллизации; отжиг фольги исследуемых материалов вызывает перераспределение полюсных плотностей дифракционных линий. В табл. 2 приведены значения этих показателей для фольги Pb-5 ат. % Cd и Pb-10 ат. % Cd, отожженных при 240 °С в течение 1 ч. После отжига полюсная плотность дифракционной линии 111 уменьшается, полюсные плотности остальных линий незначительно увеличиваются. Можно сделать вывод о том, что рекристаллизационные процессы вызывают ослабление текстуры (111).

Таблица 2

Полюсные плотности дифракционных линий отожженной быстрозатвердевшей фольги сплавов системы Pb – Cd (тип А)

Состав фольги	Дифракционная линия					
	111	200	220	311	331	420
Pb-5 ат. % Cd	2,2	1,1	0,3	1,0	0,6	0,8
Pb-10 ат. % Cd	2,3	1,1	1,0	0,9	0,4	0,3

Изменение структуры фольги при отжиге отражается на микротвердости. Результаты проведения изохронного отжига представлены на рис. 2. Увеличение микротвердости быстрозатвердевшей фольги системы Pb – Cd при отжиге правомерно связать с рекристаллизационными процессами, вызывающими рост среднего размера зерен и уменьшение площади межзеренных границ. В фольге сплавов Pb-Cd выделения второй фазы задерживают протекание рекристаллизации, поэтому ее отжиг до температуры 120 °С не изменяет микротвердость. Последующий отжиг при более высоких температурах вызывает процессы рекристаллизации, обуславливающие увеличение среднего размера зерна и повышение микротвердости.

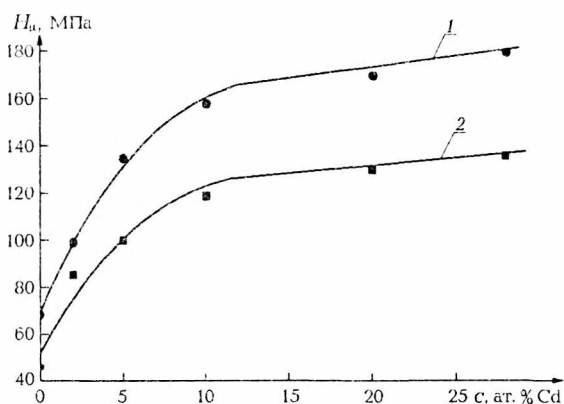


Рис. 1. Зависимость микротвердости сплавов системы Pb – Cd от концентрации кадмия:
1 – массивные образцы, 2 – фольга

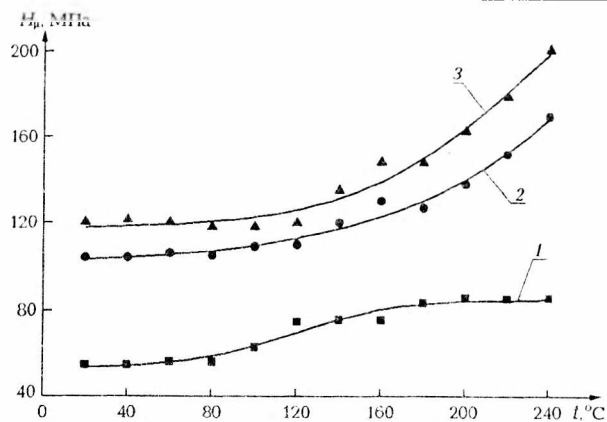


Рис. 2. Изменение микротвердости быстрозатвердевшей фольги сплавов системы Pb – Cd при изохронном отжиге: 1 – Pb, 2 – Pb-5 ат. % Cd, 3 – Pb-10 ат. % Cd

Таким образом, фольга свинца и сплавов Pb-Cd имеет микрокристаллическую структуру и текстуру (111). Микротвердость быстрозатвердевшей фольги меньше микротвердости массивных сплавов того же состава. Отжиг фольги свинца при температуре выше 100 °С, а его сплавов с кадмием – выше 120 °С вызывает укрупнение структуры, ослабление текстуры (111) и

увеличение микротвердости в результате протекания рекристаллизационных процессов.

1. Вассерман Г., Гривен И. Текстуры металлических материалов. М., 1969.
2. Li D.Y., Szpunar J.A. // J. of Materials Science Letters. 1994. Vol. 13. № 21. P. 1521.
3. Ташлыкова-Бушкевич И.И., Шепелевич В.Г. // Вестн. Блорус. ун-та. Сер. 1. 1999. № 1. С. 29.
4. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М., 1972.

Поступила в редакцию 15.12.2002.

Анна Геннадьевна Анисович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ГНУФТИ НАН Беларуси.

Ольга Николаевна Шахрай – аспирант кафедры физики твердого тела. Научный руководитель – В.Г. Шепелевич.

Василий Григорьевич Шепелевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела.

УДК 539.2116.2

В.А. ПИЛИПЕНКО, В.Н. ПОНОМАРЬ, И.В. ПИЛИПЕНКО

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНКИ НИТРИДА ТИТАНА ПРИ БЫСТРОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ

In this article there was analyzed the process of TiN synthesis by means of rapid thermal annealing of titanium-silicon system in the nitrogen atmosphere.

Создание высококачественных быстродействующих полупроводниковых приборов и сверхбольших интегральных схем (СБИС) требует внедрения в технологию их изготовления новых материалов, среди которых одними из наиболее перспективных являются силициды – соединения кремния с более электроположительными элементами, в основном с переходными металлами. Диоды Шоттки, невыпрямляющие контакты к мелкозалегающим активным областям СБИС, электроды затворов МОП-структур, изготавливаемые по самосовмещенной технологии, – вот далеко неполный перечень областей применения силицидов в технологии СБИС.