

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**IV МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАН БЕЛАРУСИ**



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

**Многофункциональные материалы
в современной технике и методы
их получения. Материалы
для микро- и наноэлектроники**



**19–21 октября 2009 г.
Минск**

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

(Минск, 19–21 октября 2009 г.)

Сборник материалов

В 3 книгах

Книга 1

**Многофункциональные материалы в современной
технике и методы их получения.**

Материалы для микро- и нанoeлектроники

Минск
ФТИ НАН Беларуси
2009

УДК [621.7+621.9](082)

ББК 30.61я.43

С56

Редакционная коллегия:

С.А. Астапчик (гл. ред.),

А.И. Гордиенко (зам. гл. ред.),

А.П. Ласковнѐв (зам. гл. ред.),

В.М. Гришанович, Н.В. Райчѐнок,

Е.А. Маковец

Рецензенты:

акад., д-р техн. наук П.А. Витязь

чл.-корр., д-р техн. наук В.Л. Драгун

С 56

Современные методы и технологии создания и обработки материалов: IV Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19–21 октября 2009 г.): сб. материалов. В 3 кн. Кн. 1. Многофункциональные материалы в современной технике и методы их получения. Материалы для микро- и нанoeлектроники / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл.ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2009. – 295 с. : ил.

ISBN 978-985-6441-08-3

В сборнике представлены материалы по кинетике кристаллизации кубического нитрида бора в системе BN-Na₃Ni, трибологическим свойствам алмазоподобных углеродных покрытий, нанокмпозиционные аморфные алмазоподобные углеродные пленки, комбинированные покрытия на основе Cr, упрочняющие градиентные покрытия на основе карбонитридов циркония, термостабильность и свойства на основе (Ti, Cr) на сплавах WC-TiC-Co, Золь-гель синтез гибридных люминисцирующих нанокмпози-тов на основе кварцевого стекла. Теплоизоляционные силикатные высокопористые материалы, оптиче-ски прозрачные керамические материалы на основе оксида иттрия. Синтез иттрий алюминиевого граната Золь-гель-методом. Слоистый композиционный наноматериал на основе стекла, получение керамических огнеупорных материалов на основе доломита, керамических материалов в системе алюминий-диоксид кремния-доломит методом СВС; адгезионные полимерные покрытия алмазных порошков; керамика в системе Al₂O₃-ZrO₂, алюмоматричные композиционные материалы с карбидными и оксидными наполни-телями. Концептуальные положения создания метастабильных сплавов нового поколения, самоорганизу-ющихся при эксплуатации и др.

УДК [621.7+621.9](082)

ББК 30.61я.43

ISBN 978-985-6441-08-3 (кн. 1)

ISBN 978-985-6441-11-3

© Физико-технический институт
Национальной академии наук Беларуси, 2009

УДК 538.9:669.45

О.Н. Белая¹, В.Г. Шепелевич²

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ СВИНЕЦ – МАГНИЙ

¹УО «БГПУ им. М. Танка», ²БГУ
г. Минск, Беларусь

The research results of structure of rapidly solidified foils of Pb and its alloys with Mg are presented. Development of a cellular structure on the foil surface contacting with an atmosphere during crystallization in rapidly solidified foils of Pb – Mg alloys. The regularity of foils structure and properties changing, depending on the annealing temperature and duration is established.

Высокая плотность, мягкость, легкая обрабатываемость, сравнительно малая проводимость, коррозионная устойчивость и способность реагировать с органическими веществами придают свинцу особую практическую ценность. Улучшение механических свойств свинца, в частности твердости, возможно путем рационального легирования, при введении легирующих добавок происходят структурные изменения, которые определяют его физико-механические свойства. Кроме того, одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является использование метода высокоскоростного затвердевания [1, 2]. Материалы, полученные методами высокоскоростного затвердевания расплава, обладают рядом свойств, которые обуславливают возможность их широкого применения в науке и технике. При этом разработка и использование методов прогнозирования свойств таких материалов и выявление влияния технологических параметров на их структуру и физические характеристики может существенно снизить затраты на разработку технологий получения новых материалов с заданными

свойствами. Однако следует отметить, что создаваемые таким образом структуры в металлах, как правило, являются термодинамически неравновесными. Поэтому важно не только уметь создавать требуемую структуру, но и иметь четкие представления о ее стабильности. В связи с этим представляется актуальным проведение исследований быстрозатвердевших фольг сплавов на основе свинца, в частности сплавов системы свинец–магний.

Быстрозатвердевшие фольги получались методом центробежного охлаждения, при котором кристаллизация капли расплава массой 0,2 г осуществлялась на внутренней поверхности медного полого цилиндра. Частота вращения цилиндра составляла 25 об/с. Для исследования использовались фольги толщиной 30–80 мкм. Скорость охлаждения расплава составляла порядка 10^6 К/с [3]. Наблюдение топографии фольг проводилось на растровом электронном микроскопе LEO 1445 VP. Для анализа распределения анализируемых элементов осуществлялось сканирование по заданной линии. Рентгеноструктурные исследования выполнялись на дифрактометре ДРОН-3М в медном излучении. Текстура фольги исследована методом обратных полюсных фигур, полюсная плотность p_{hkl} дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитана по методу Харриса [4]. 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). Измерения параметра элементарной ячейки кристаллической решетки a проведены по положению дифракционной линии 333, для этой же линии рассчитано физическое уширение. Относительная погрешность определения a около 0,01 %. Микротвердость измерялась с помощью прибора ПМТ-3. Относительная ошибка измерения микротвердости составляет 5 %.

Исследования морфологии поверхности быстрозатвердевших фольг системы Pb – Mg показали, что сторона фольги, прилегающая к кристаллизатору в процессе кристаллизации, характеризуется гладкой поверхностью, в то время как на стороне фольги, контактирующей с атмосферой, присутствуют бугорки, на которых в некоторых местах наблюдается ячеистая структура. Рентгеноспектральный микроанализ выявил однородность в распределении компонентов.

Результаты расчета параметра элементарной ячейки показали (рис. 1), что данная величина меньше, чем для фольг чистого свинца. Наблюдаемое уменьшение связано с образованием при легировании магнием пересыщенного твердого раствора замещения.

Величина физического уширения имеет небольшое значение вследствие небольших значений микродеформаций, возникающих при внедрении атомов легирующих элементов в решетку матрицы. Как показал расчет [5], величина микродеформаций для фольг чистого свинца совпадает с минимальным значением микродеформаций, определяемых рентгеноструктурным анализом [6]. При легировании фольг свинца магнием значение физического уширения уве-

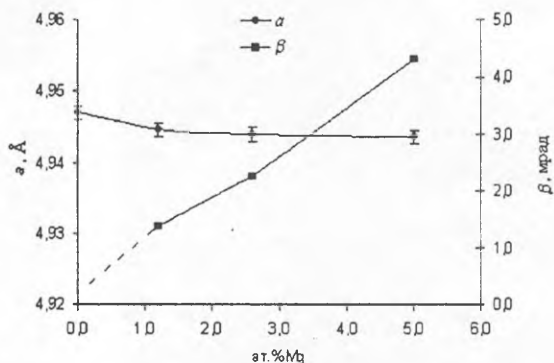


Рис. 1. Зависимость параметра элементарной ячейки (a) и физического уширения (β) от концентрации магния в сплавах системы Pb – Mg

личивается (рис. 1), что подтверждает наблюдаемое уменьшение параметра элементарной ячейки. При этом величина β становится равной 4,3 мрад для фольг Pb – 5,0 ат.% Mg.

Среди факторов, определяющих свойства материалов, большое значение имеет текстура. Наличие текстуры влияет на многие структурно-чувствительные свойства материалов: на прочность и твердость, анизотропию упругих, электрических, магнитных и других свойств. Распределение полюсных плотностей дифракционных отражений, принадлежащих твердому раствору на основе свинца, указывает на формирование текстуры (111) на стороне фольги типа

А (рис. 2), на долю данной ориентировки приходится до 95 % объема фольги. Сторона фольги типа *Б* не характеризуется некоторой определенной ориентировкой зерен. Следует отметить, что текстура (111) характерна и для других сплавов на основе свинца, полученных методом высокоскоростного затвердевания [7]. Однако в них четко выраженной текстурой характеризуются и сторона фольги типа *А*, и сторона фольги типа *Б*, хотя сторона фольги типа *Б* текстурирована в меньшей степени.

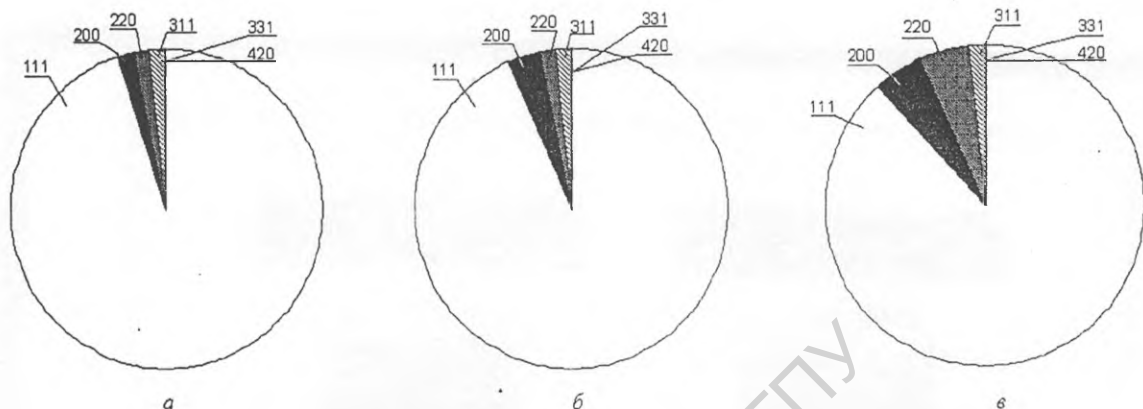


Рис. 2. Полусные плотности дифракционных линий быстрозатвердевших фольг сплава Pb – 5,0 ат. % Mg: *а* — исходные, *б* — отжиг 120 °С, 1 час; *в* — отжиг 200 °С, 1 час

Известно, что из плоскостей {100} и {111} наиболее плотноупакованными являются плоскости {111}, а наименьшей поверхностной энергией характеризуются плоскости {100}. При затвердевании в сильно неравновесных условиях текстура определяется зернами, у которых при плоском фронте кристаллизации межфазная граница «кристалл – жидкость» совпадает с плоскостями, перемещающимися с наибольшей скоростью. Такими плоскостями являются плоскости {111} [8]. Вследствие этого при быстром затвердевании предпочтителен рост тех зерен, у которых плоскости {111} перпендикулярны направлению теплоотвода, формируя тем самым текстуру (111).

В фольгах типа *Б* текстура (111) отсутствует. Это обусловлено тем, что в процессе кристаллизации слоев фольги, прилегающих к кристаллизатору, происходит выделение теплоты, которая уменьшает скорость охлаждения последующих слоев фольги. Изменение условий кристаллизации для последующих слоев фольги способствует росту зерен с другой ориентировкой, что вызывает уменьшение доли зерен с ориентировкой (111).

Микротвердость быстрозатвердевших фольг сплавов системы Pb – Mg превышает микротвердость фольг чистого свинца. Так, микротвердость фольг свинца, легированных 2,5 и 5,0 ат. % Mg превышает микротвердость фольг чистого свинца в 2 и 3 раза соответственно.

Исследовано влияние отжига на структуру и свойства фольг сплавов системы Pb – Mg. Отжиг исследуемых фольг при температуре 120 °С в течение 1 ч приводит к выделению частиц второй фазы (рис. 3), а именно соединения Mg_2Pb по данным [10]. При этом выделения второй фазы располагаются преимущественно на границах зерен, их размер не превышает 0,3 мкм.

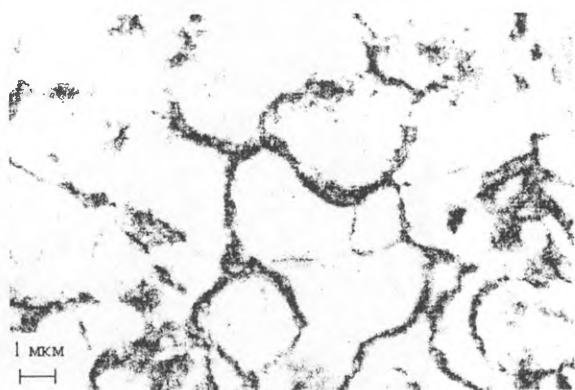


Рис. 3. Микроструктура быстрозатвердевших фольг Pb – 5 ат.% Mg, отожженных при температуре 120 °С в течение 1 часа

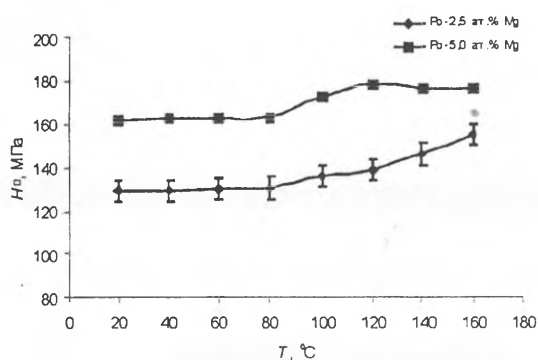


Рис. 4. Зависимость микротвердости быстрозатвердевших фолг Pb – Mg от температуры отжига

Отжиг в этом же температурном режиме приводит к увеличению параметра элементарной ячейки, что подтверждает протекание процесса распада пересыщенного твердого раствора. Перераспределение полюсных плотностей при различных температурных режимах (рис. 2) указывает на то, что в процессе отжига происходит незначительное изменение текстуры. Процессы рекристаллизации притекают не так интенсивно в связи с выделением на границах зерен частиц второй фазы. Перечисленные выше факторы объясняют увеличение величины микротвердости в процессе изохронного отжига (рис. 4).

Список использованных источников

1. *Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технология и материалы)* / В.А. Васильев [и др.]; под общ. ред. Б.С. Мутина. — М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. — 400 с.
2. Mehrabian, R. *Rapid Solidification* / R. Mehrabian // *Int. Metals Reviews*. — 1982. — Vol. 27, № 4. — P. 185–208.
3. Мирошниченко, И.С. *Закалка из жидкого состояния* / И.С. Мирошниченко. — М.: Металлургия, 1982. — 168 с.
4. Вассерман, Г. *Текстуры металлических материалов* / Г. Вассерман, И. Гревен. — М.: Металлургия, 1969. — 654 с.
5. Горелик, С.С. *Рентгенографический и электронно-оптический анализы* / С.С. Горелик, Л.Н. Распоргуев, Ю.С. Скаков. — М.: ГНТИЛЧЦМ, 1963. — 256 с.
6. Русаков, А.А. *Рентгенография металлов* / А.А. Русаков. — М.: Атомиздат, 1977. — 480 с.
7. Шахрай, О.Н. *Текстура быстрозатвердевших фолг свинца и его сплавов* / О.Н. Шахрай, В.Г. Шепелевич // *Весті Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серія фізіка-тэхнічных навук*. — 2004. — № 3. — С. 32–34.
8. Li, D.Y. *A possible role for surface paking density in the formation of {111} texture in solidified FCC metals* / D.Y. Li, J.A. Szpunar // *J. of Mater. Sci. Lett.* — 1994. — Vol. 13. — P. 1521–1523.
9. Хансен, М. *Структуры двойных сплавов* / М. Хансен, К. Андерко. — М.: Металлургиздат, 1962. — 1488 с.