

УДК 621.762

## ВЗРЫВНОЕ ПРЕССОВАНИЕ РАСПЫЛЯЕМЫХ МИШЕНЕЙ ИЗ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ

Рогозин В.Д., Писарев С.П., Казак В.Ф.

ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,  
Волгоград, e-mail: mv@vstu.ru

В работе показана возможность получения крупногабаритных распыляемых мишеней из оксидных порошков без связки методом взрывного прессования. С помощью компьютерного анализа оптимизирована схема взрывного нагружения и получены мишени толщиной 4–8 мм и диаметром 120–150 мм из порошков  $YBa_2Cu_3O_7$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ . Приведены результаты испытаний мишеней из порошка  $YBa_2Cu_3O_7$  и показано значительное уменьшение времени тренировки и увеличение стойкости полученных мишеней.

**Ключевые слова:** распыляемые мишени, взрывное прессование, оксидные порошки.

## EXPLOSIVE COMPACTION OF SPUTTERING TARGETS FROM OXIDE POWDERS

Rogozin V.D., Pisarev S.P., Kazak V.F.

HPE «Volgograd State Technical University», Volgograd, e-mail: mv@vstu.ru

The possibility of obtaining large sputtering targets from oxide powders without a filler by the method of explosive compaction is shown. The scheme of explosive loading is optimized by computer analysis and the targets from  $YBa_2Cu_3O_7$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  powders with a thickness of 4-8 mm and a diameter of 120-150 mm are obtained. Testing results for targets from  $YBa_2Cu_3O_7$  powder are presented and show a significant reduction in training time and increase of targets resistance.

**Keywords:** sputtering targets, explosive compaction, oxide powders

В современных технологиях микроэлектроники сложные радиоэлектронные схемы формируют путем осаждения тонких слоев при распылении мишеней [1] из проводниковых, резистивных, диэлектрических, полупроводниковых и других материалов. К мишеням предъявляется ряд высоких требований, таких как химическая чистота и однородность состава по всей площади мишени, высокая плотность для снижения газосодержания в порах, высокая стойкость в условиях теплосмен и больших перепадов температуры по толщине. Мишени, получаемые традиционными методами порошковой металлургии, во многих случаях не удовлетворяют таким требованиям и в связи с этим в данной работе исследована возможность и условия взрывного прессования [2, 6] крупногабаритных распыляемых мишеней из оксидных порошков без связки.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились на порошках промышленного производства, которые использовались в состоянии поставки, без введения связок и пластификаторов (табл. 1).

Для получения распыляемых мишеней в виде дисков толщиной 4–8 мм и диаметром 120–150 мм разработана представленная на рис. 1 схема плоского взрывного прессования порошка в контейнере, располагаемом в передающей среде между плитой-пуансоном и плитой-основанием. Электродетонатор и система детонирующих шнуров обеспечивают плоский фронт детонации заряда взрывчатого вещества, давление продуктов детонации разгоняет плиту-пуан-

сон, создавая ударную волну в передающей среде, что обеспечивает мощный импульс ударного давления в прессуемом порошке и его уплотнение.

**Таблица 1**  
Порошки для взрывного прессования мишеней

Материал частиц	Размер частиц	Начальная плотность
–	мкм	кг/м <sup>3</sup>
$YBa_2Cu_3O_7$	20–30	2900
$ZrO_2$	2–10	2250
$MgO$	2–5	300/1670*
$Al_2O_3$	10–30	1200

Примечание. \* – после предварительного прессования и размола.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для оптимизации схемы разработана компьютерная программа расчета волновой картины взрывного нагружения [3], с помощью которой выявлены существенные особенности процесса прессования и исключено образование трещин и расслоений при больших поперечных размерах, малой толщине и высокой плотности спрессованного керамического материала.

На рис. 2 приведены кривые разгона плиты-пуансона, рассчитанные для средней скорости ( $I$ ) и для нижней плоскости

плиты (2), прилегающей к передающей среде. Видно, что плита испытывает мощные колебания по толщине [4] и как следствие, в верхней части передающей среды возни-

кают множественные отколы и расслоения. По этой причине контейнеры с образцами располагаются в нижней части передающей среды.

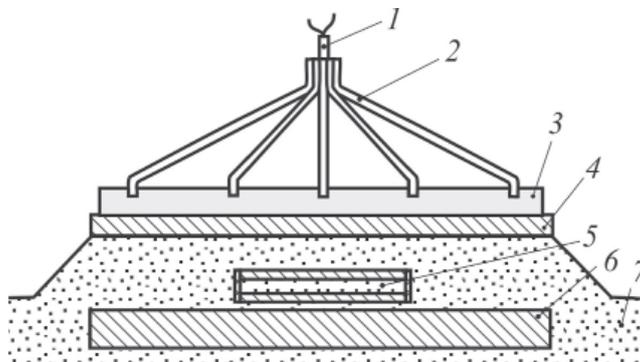


Рис. 1. Схема взрывного прессования распыляемых мишеней:  
1 – электродетонатор; 2 – детонирующие шнуры; 3 – заряд ВВ;  
4 – плита-пуансон; 5 – контейнер; 6 – плита-основание; 7 – песок

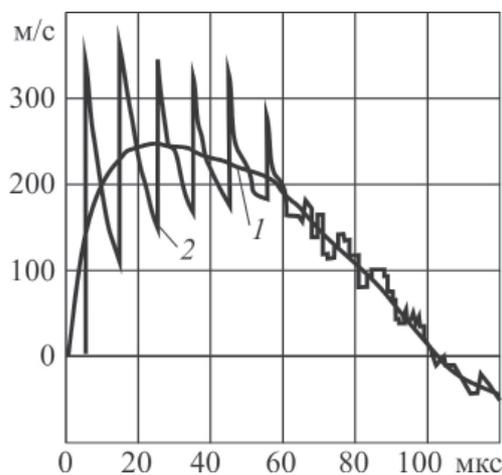


Рис. 2. Вибрация плиты-пуансона:  
1 – средняя скорость плиты; 2 – скорость нижней плоскости

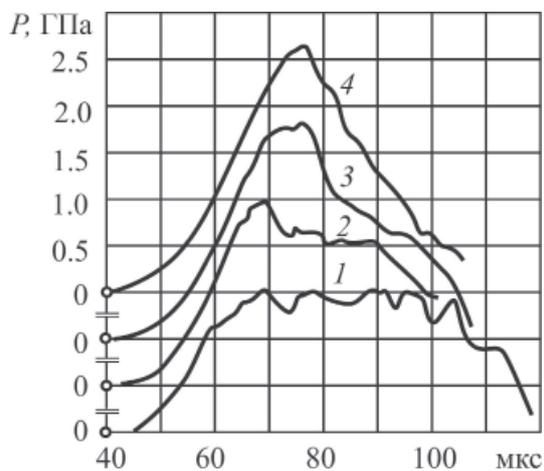


Рис. 3. Ударный импульс в порошке при различной толщине обкладок контейнера:  
1 – без обкладок; 2–5 мм; 3–10 мм; 4–15 мм

Компьютерный анализ показывает (рис. 3), что с увеличением толщины обкладок контейнера максимальное давление в прессуемом порошке существенно увеличивается. Расчетные результаты под-

тверждаются опытными данными (табл. 2). Эффект объясняется более полным отбором энергии от плиты-пуансона и увеличением времени воздействия на порошок волны, отраженной от плиты-основания.

Таблица 2

Плотность ( $\text{кг/м}^3$ ) прессовок в зависимости от толщины обкладок контейнера

Материал порошка	Толщина обкладок, мм			
	3,5	5,0	6,5	10
ZrO <sub>2</sub>	4000	4250	4300	4400
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	–	5000	5200	5500

На рис. 4 сопоставлена форма импульса среднего давления (а) и давлений, действующих на верхней (б) и нижней (в) плоско-

стях прессуемого порошкового слоя. Как видим, давление в порошке изменяется монотонно, причем локальные отклонения

давления от среднего малы и процесс нагрузки и разгрузки происходит практически одновременно по всей толщине прессовки.

Такие условия обеспечиваются демпфирующим действием передающей среды, что предотвращает появление трещин в прессовке.

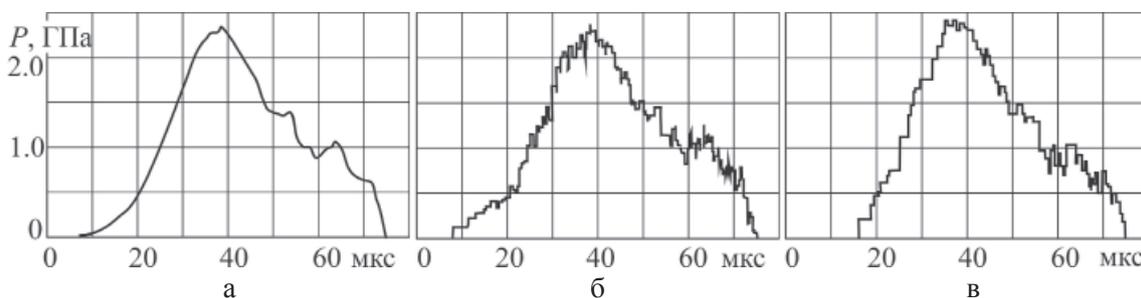


Рис. 4. Форма ударного импульса в прессовке (а), на ее верхней (б) и нижней (в) плоскостях

В итоге, представленные результаты расчетов и контрольных экспериментов обеспечили получение крупногабаритных высокоплотных распыляемых мишеней из порошков оксидных материалов в виде плоских дисков толщиной 4–8 мм при диаметрах 120–150 мм с относительной плотностью материала 80–90%.

Испытания спрессованных взрывом мишеней из  $YBa_2Cu_3O_7$  проводились при магнетронном распылении. Сопоставлялись результаты для мишеней, полученных взрывным прессованием (ВП) и полученных по обычной технологии порошковой

металлургии (ПМ). Эксперименты показали, что ВП-мишени значительно превосходят ПМ-мишени по важнейшим показателям:

1. Время выхода мишени на расчетный режим (время тренировки). На рис. 5 показана зависимость химсостава осажденных пленок от времени тренировки мишени. Как видим, ПМ-мишени выходят на постоянный состав лишь через 15–20 часов, а ВП-мишени дают стехиометрический состав уже через 3–5 часов, что можно объяснить отсутствием связки и малым газосодержанием в порах высокоплотной структуры.

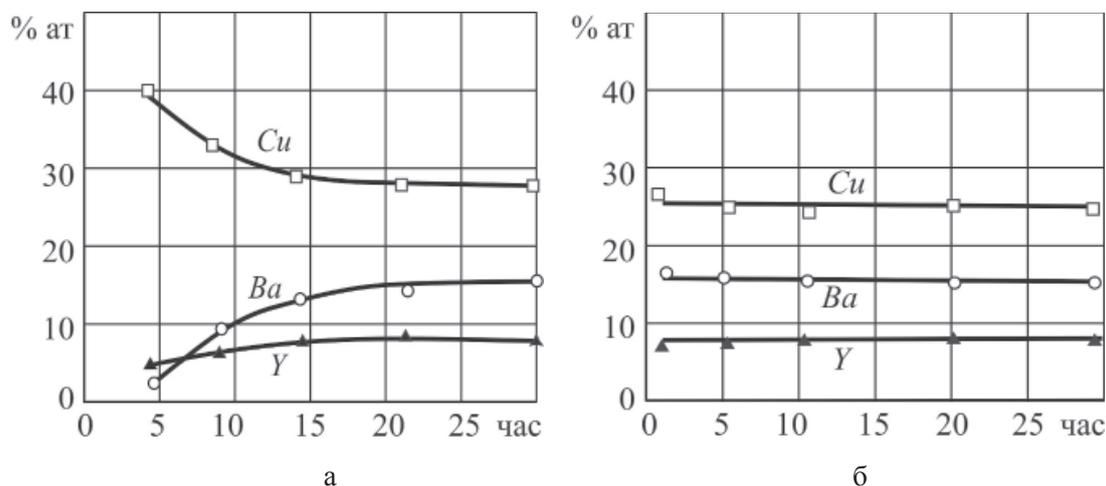


Рис. 5. Зависимость химсостава напыленных пленок от времени тренировки для ПМ (а) и ВП (б) мишеней

2. Стойкость мишени. В рабочем режиме распыления действует значительный перепад температуры по толщине мишени (примерно 600 К) и кроме того,

в установке распыления мишень работает периодически, испытывая многократные теплосмены. В таких условиях ВП-мишени имеют в 2–3 раза больший ресурс работы

(150–200 теплосмен), чем ПМ-мишени. Это можно объяснить большей подвижностью межчастичных связей в прессованной структуре ВП-мишени по сравнению с жесткими связями в спеченной структуре ПМ-мишени [5].

#### Заключение

Таким образом, метод взрывного прессования обеспечивает получение крупногабаритных высокоплотных распыляемых мишеней из труднопрессуемых оксидных керамических порошков без связки, обладающих повышенными служебными свойствами по сравнению с мишенями, получаемыми по традиционной технологии порошковой металлургии.

#### Список литературы

1. Берлин Е.В. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман. – М.: Техносфера, 2010. – 528 с.
2. Прюммер Р. Обработка порошкообразных материалов взрывом; под ред. С.С. Бацанова; пер. с нем. А.И. Мартынова. – М.: Мир, 1990. – 126 с.
3. Рогозин В.Д. Взрывная обработка порошковых материалов: монография. – Волгоград: Волгоградский гос. тех. университет, 2002. – 136 с.
4. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович; под ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
6. Андриевский Р.А. Порошковое материаловедение. – М.: Металлургия. – 1991. – 205 с.
7. Pruemmer R.A. Explosive Compaction of Powders and Composites / R.A. Pruemmer, T. Balacrishna Bhat, K. Siva Kumar, K. Hokamoto // Science publishers, Post Office Box 699, Enfield, New Hampshire 03748, USA. – 2006. – 194 p.