

## Мишени на основе ферритов и высокотемпературных сверхпроводников для ионно-плазменного распыления

© А.А. Лепешев,<sup>2</sup> В.Н. Саунин,<sup>2</sup> С.В. Телегин,<sup>1</sup> К.П. Полякова,<sup>1</sup> В.А. Середкин,<sup>1</sup> А.И. Польский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН,  
660036 Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирская аэрокосмическая академия,  
660014 Красноярск, Россия

(Поступило в Редакцию 30 марта 1999 г. В окончательной редакции 25 октября 1999 г.)

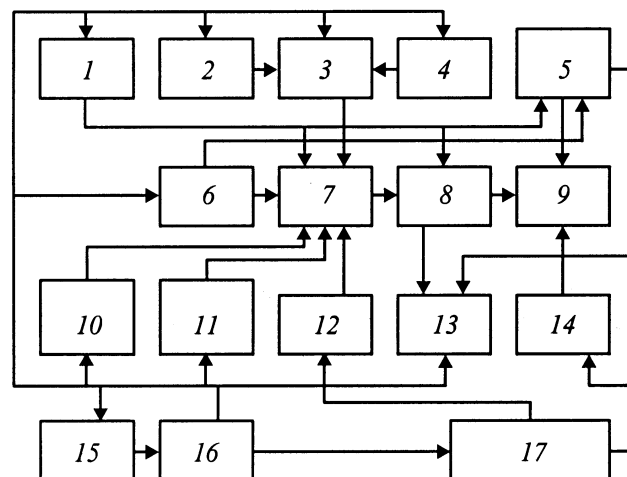
Описан способ получения мишеней для ионно-плазменного распыления с использованием метода плазменного напыления соответствующих порошков на охлаждаемую металлическую основу. Показано, что применение плазменной технологии дает возможность изготавливать в контролируемой атмосфере мишени сложной формы из керамических материалов, обеспечивая их высокую однородность по составу, а также надежный механический и тепловой контакт получаемого покрытия с основой-держателем. Проведены эксперименты по ионно-плазменному распылению мишеней с целью получения поликристаллических пленок ферритов для магнитооптических применений и эпитаксиальных пленок высокотемпературных сверхпроводников.

Развитие вычислительной техники, систем управления и средств связи стимулировало исследование в области тонкопленочной тематики как в вопросах создания оборудования и совершенствования технологии получения, так и практического использования тонких металлических, диэлектрических, полупроводниковых, магнитных и других типов пленочных покрытий. В зависимости от функционального назначения и требуемых характеристик напыление тонких пленок может осуществляться различными системами, в том числе распылительными: диодными, триодными, магнетронными и другими на постоянном токе или с использованием ВЧ разряда. Наряду с выбором типа распылительной системы особого внимания заслуживает технология изготовления катодного узла и, в частности, способы получения мишеней, методы их крепления и охлаждения. Существующие методы получения мишеней весьма разнообразны. К основным методам получения неметаллических мишеней следует отнести прессование с последующим спеканием или горячее прессование. Однако в этом случае чаще всего не решается проблема соединения мишени с охлаждаемой основой.

В данной работе представлен оригинальный способ получения мишеней на охлаждаемой основе, который, на наш взгляд, является перспективным и достаточно универсальным, — это способ с использованием плазменного напыления. При плазменном напылении газопорошковая смесь вводится в поток низкотемпературной плазмы, где происходят ускорение частиц, их нагрев до заданной среднемассовой температуры, плавление и последующее охлаждение на напыляемой поверхности. Применение плазменной технологии дает возможность изготавливать в контролируемой атмосфере мишени сложной конфигурации как из металлических, так и керамических материалов, в том числе и тугоплавких, обеспечивая при этом надежный тепловой контакт покрытия с основой-держателем.

Плазменное напыление осуществлялось с помощью оборудования [1], разработанного авторами. Функциональная схема установки показана на рис. 1. Основным элементом установки является электродуговой плазмотрон с коаксиальной подачей порошка, предназначенный для создания потока дисперсных частиц с заданной плотностью, температурой и скоростью.

На рис. 2,а показаны варианты плоских мишеней из магнитных материалов, полученные плазменным на-

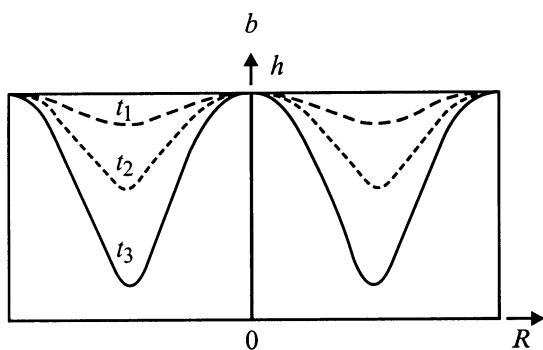
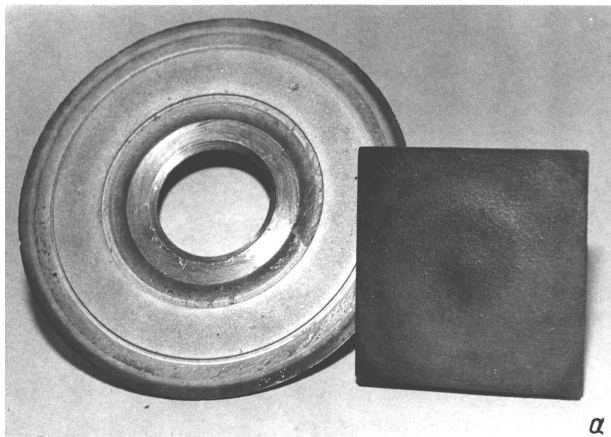


**Рис. 1.** Функциональная схема установки: 1 — система подачи рабочих газов, 2 — система подачи транспортных газов, 3 — порошковый питатель, 4 — блок управления питателем, 5 — устройство генераторного резлима покрыт, 6 — система охлаждения, 7 — плазмотрон "Вулкан", 8 — камера напыления, 9 — напыляемая деталь, 10 — система электропитания плазмотрона, 11 — система поджига дуги плазмотрона, 12 — механизм перемещения плазмотрона, 13 — система отсоса и утилизации, 14 — механизм подачи, 15 — система измерения параметров, 16 — система управления установкой, 17 — система управления взаимным перемещением.

Материал мишени	Дисперсность порошка, $\mu\text{m}$	Дистанция распыления, mm	Мощность, kW	Плазмообразующий газ		Транспортирующий газ		Расход порошка, kg/h
				Состав	$G, \text{m}^3/\text{h}$	Состав	Расход газа $G, \text{m}^3/\text{h}$	
$(\text{BiY})_3(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$	50–80	100	12–14	Ar	1.1	Ar + H <sub>2</sub>	0.2 + 2	0.9
$\text{BiDy}_2\text{Ga}_{1.2}\text{Fe}_{3.8}\text{O}_{12}$	50–80	100	14	Ar	1.1	Ar + H <sub>2</sub>	0.2 + 2	0.9
$\text{CoFe}_2\text{O}_4$	50–80	100	14	Ar	1.1	Ar + H <sub>2</sub>	0.2 + 2	0.9
$x\text{CoFe}_2\text{O}_4(1-x)\text{P}_2\text{O}_5$	50–80	100	12	Ar	1.2	Ar + H <sub>2</sub>	0.2 + 1.8	0.8
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	50–80	100	12	Ar	1.1	Ar + H <sub>2</sub>	0.2 + 2	0.8

пылением. Несмотря на достаточно большие размеры (диаметр кольцевой мишени 18 см, толщина 4 мм), напыленное покрытие является однородным, без видимых растрескиваний, сколов и отслоений от основы (материал основы — медь).

Металлографические исследования получаемых покрытий показали, что их микроструктура имеет типичный для плазменного напыления вид с характерной анизотропией формы пор, которые, как правило, ориентированы параллельно напыляемой поверхности и имеют глубину  $\sim 3 \mu\text{m}$ . Пористость покрытия, так же как и другие его свойства, можно регулировать технологическими условиями напыления, оптимальные значения параметров которого для ряда оксидных мишеней приведены в таблице.



**Рис. 2.** Внешний вид мишеней, полученных плазменным напылением (а), и формирование эрозийной зоны круглой мишени для различных времен эксплуатации  $t$  ( $t_1 < t_2 < t_3$ ) (b).

Известно, что материалы с высоким удельным сопротивлением, в частности ферриты ( $10^3 - 10^6 \Omega\text{m}$ ), обычно распыляют на установках с ВЧ генераторами [2]. Для распыления диэлектриков на энергетически более эффективных установках постоянного тока в состав мишени с целью снижения ее электросопротивления вводят легирующие добавки, которые могут ухудшать качество тонкопленочного покрытия [3].

При плазменном напылении ряда ферритовых мишеней от применения легирующих добавок можно отказаться. Известно, что обработка ферритов в восстановительной среде приводит к изменению его состава, потере кислорода, увеличению доли двухвалентного железа и, как следствие этого, увеличению электропроводности [4]. Аналогичные процессы наблюдаются и при распылении ферритов в потоке низкотемпературной плазмы. Это дает возможность за счет выбора режимов напыления в достаточно широких пределах регулировать электропроводность.

Заслуживает внимания важный момент, связанный с эффективностью использования материала мишени и в значительной степени определяющий конструкцию и технологические особенности изготовления катодного узла. Поскольку интенсивность распыления материала по поверхности неоднородна, а скорость распыления максимальная вдоль оси зоны разряда и убывает к ее периферии, то в процессе эксплуатации в мишени образуется эрозийная зона, форма которой повторяет форму разряда (полоса, кольцо, эллипс и т. д., рис. 2, b). По мере углубления эрозийной зоны изменяется угловое распределение бомбардирующих ионов, вследствие чего снижается скорость напыления. Высокая эффективность использования получаемых мишеней достигалась в нашем случае за счет профилирования их рабочей поверхности, а именно изменением толщины напыляемого материала в соответствии с профилем эрозийной зоны (рис. 2, b). Применение подобного типа профилированных мишеней позволяет повысить коэффициент использования материала мишени до 50%.

Описанным выше способом были получены проводящие мишени ферритов  $(\text{BiY})_3(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Bi}_{1.7}\text{Y}_{1.3}\text{Al}_{1.2}\text{Fe}_{3.8}\text{O}_{12}$ ,  $\text{BiDy}_2\text{Ga}_{1.2}\text{Fe}_{3.8}\text{O}_{12}$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $x\text{CoFe}_2\text{O}_4(1-x)\text{P}_2\text{O}_5$ , а также высокотемпературного сверхпроводника  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . Синтез материала мишеней осуществлялся по керамической технологии.

Указанные выше мишени были использованы для получения методом ионно-плазменного распыления поликристаллических пленок ферритов и эпитаксиальных пленок высокотемпературных сверхпроводников. Распыление материала мишеней проводилось на стандартной установке УРМЗ.279.050, снабженной источником распыления на постоянном токе (триодная система), в атмосфере аргона на различные подложки при температуре последней  $\sim 50^\circ\text{C}$  и скорости осаждения  $2 \text{ \AA/s}$ . Полученные таким образом пленки находились в аморфном состоянии. Процесс кристаллизации осуществлялся путем отжига напыляемых пленок на воздухе в течение 3 h при температуре от  $600$  до  $900^\circ\text{C}$  в зависимости от состава пленки. По данным рентгеноспектрального флуоресцентного анализа химический состав полученных пленок близок к составу используемых мишеней. Электронно-микроскопические и оже-спектроскопические исследования пленок показали, что пленки оксидов характеризуются однородным распределением компонентов в объеме пленки.

Исследование, например, магнитных и магнитооптических свойств пленок ферритов показало, что использование мишеней, полученных методом плазменного напыления, оказалось достаточно эффективным при создании магнитооптических носителей информации на основе поликристаллических пленок ферритов [5,6].

## Список литературы

- [1] Саунин В.Н., Лепешев А.А. Препринт ИФ СО РАН. Красноярск, 1990. № 675 Ф. 49 с.
- [2] Данилин В.С., Сырчин В.К. // Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982. 152 с.
- [3] Шермергор Т.Д., Стрельцова Н.Н. // Пленочные пьезоэлектрики. М.: Радио и связь, 1986. 137 с.
- [4] Третьяков Ю.Д. // Термодинамика ферритов. Л.: Химия, 1967. 304 с.
- [5] Лепешев А.А., Павлов В.Ф., Полякова К.П. и др. // Автометрия. 1995. № 3. С. 50–57.
- [6] Полякова К.П., Середкин В.А., Лепешев А.А. и др. // Неорганические материалы. 1998. Т. 34. № 8. С. 970–973.