

Результаты применения установки с цилиндрическими катодами для высокопроизводительного нанесения многослойной металлизации толщиной более 20 мкм

*М.В.Назаренко, *А.Г.Новиков, *А.Х.Хисамов*
Москва, РФ, ООО «РМТ»,
**Минск, Беларусь ООО «Стратнанотек Инвест»*
E-mail: m.v.makarova@list.ru, andrey.novikov@stratnanotech.com

В работе исследованы особенности двухстороннего нанесения многослойной металлизации с толщиной проводящего слоя меди более 20 мкм, полученного путем магнетронного распыления цилиндрических катодов. Проведена оценка качества покрытия на основании результатов измерения толщины слоев, шероховатости поверхности, равномерности травления и адгезии при термоциклировании.

High-throughput deposition of multilayer metallization with thickness more than 20 microns using a coater with cylindrical cathodes. M.V.Nazarenko, A.G.Novikov, A.Kh.Khissamov. Key features of double-sided multilayer metallization deposition with copper layer more than 20 μm of thickness formed by magnetron sputtering of rotatable targets were studied and discussed. The quality of metallization was estimated by measurements of thickness, surface roughness, etching uniformity and adhesion at thermo-cycling.

Введение

На сегодняшний день толстые проводящие пленки меди применяются в таких перспективных областях, как термоэлектричество и силовая электроника [1]. Толщина проводящих слоев меди в изделиях должна составлять десятки, и даже сотни микрометров. Одним из наиболее перспективных методов формирования толстых проводящих пленок является метод ионного распыления в магнетронных системах с цилиндрическими катодами [2]. Пленки, полученные данным методом, обладают всеми преимуществами магнетронного распыления, а именно, высокой равномерностью слоев на большой площади, высокой плотностью и низким количеством дефектов. Вследствие наличия ионизированной фазы покрытия обладают отличными показателями адгезии. Использование цилиндрических водоохлаждаемых катодов позволяет существенно повысить мощности распыления без риска перегрева мишени и отличается высокими скоростями осаждения, составляющими до 450 нм/мин. Использование этого метода на производстве позволяет сократить время формирования пленки до нескольких часов и, тем самым, обеспечить высокое качество покрытий за короткое время, а учитывая большую загрузку установок с цилиндрическими катодами, можно существенно увеличить и производительность производства. Не менее важным аспектом является качество сформированного покрытия, которое должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к проводящим покрытиям.

В связи с чем, целью данной работы является изучение свойств и характеристик слоев меди толщиной более 20 мкм, нанесенных методом магнетронного распыления.

Методика эксперимента

В работе использовали полированные подложки из AlN с шероховатостью Ra7...9 нм, размерами 60x48 мм и толщиной 0,25 мм. Двухстороннее напыление адгезионных слоев и слоя меди расчетной толщиной 25 мкм проводили на установке SNT Epsilon 74M путем магнетронного распыления цилиндрических катодов. Осаждение пленок проводили в вакуумной камере при остаточном давлении не хуже $P = 8 \cdot 10^{-4}$ Па. Перед процессом напыления металлических слоев проводилась дегазация подложек с нагревом до 250 °С и ионно-лучевая очистка подложек с обеих сторон в смеси аргон/кислород. Установка позволяет напылять до 3 типов материалов в одном вакуумном цикле на вращающийся барабан с подложкодержателями. Скорость вращения может регулироваться в диапазоне до 20 об/мин. В данной работе использовали напыление адгезионного подслоя толщиной 300 нм. Далее

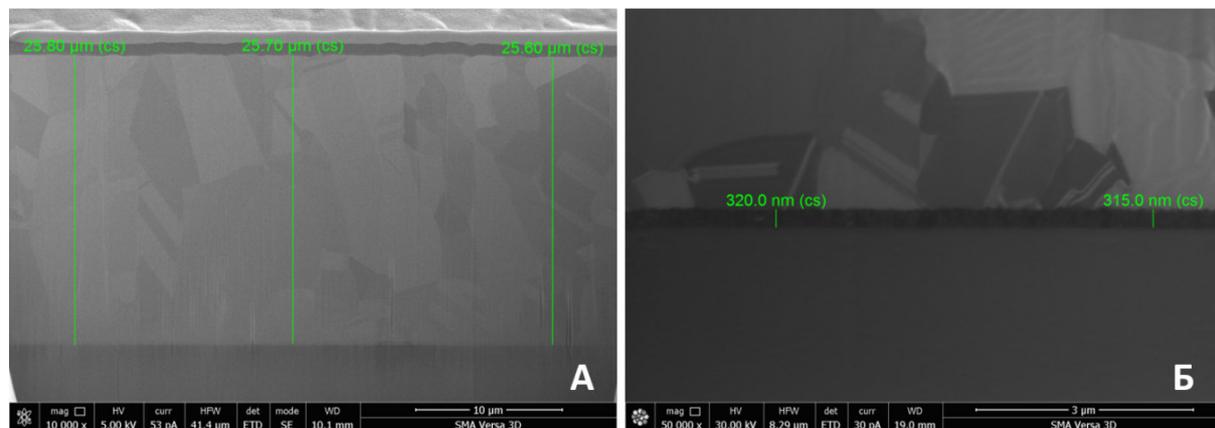
проводили напыление меди при давлении в камере порядка 0,5 Па, мощности на блоке питания 16 кВт в течении 200 мин. Таким образом расчетная скорость напыления составляла не менее 250 нм/мин.

Результаты и их обсуждение

Толщина металлизации

Для определения качества покрытия и соответствия металлизации регламентам производства проведена оценка толщины слоя меди, шероховатости поверхности, линейных размеров дефектов и их количества, изучены равномерность травления, измерена адгезия до и после термоциклирования. Для сравнения качества металлизации использовали полученные ранее результаты аналогичных измерений слоев меди, полученных методом жидкофазного магнетронного распыления [3].

РЭМ микрофотографии (рис. 1) сколов подложек показывают, что толщина слоя меди составляет порядка 25,7 мкм, а толщина адгезионного слоя – 320 нм. Из анализа размеров зерен в пленке меди можно сделать вывод о том, что пленки не подвергались перегреву, то есть температура поверхности слоев не превышала в процессе напыления 220 °С.



*Рис. 1. РЭМ микрофотографии слоев в поперечном сечении,
а) – толщина меди, б) – толщина подслоя*

Шероховатость поверхности и качество адгезии

Параметр шероховатости Ra измерен с помощью профилометра “Mahr MarSurfPS1” при длине сканирования 1,75 мкм. Результаты измерения шероховатости приведены в таблице 1 в сравнении с результатами для метода жидкофазного магнетронного распыления. Из сравнения результатов установлено, что шероховатость пленок полученных методом магнетронного распыления цилиндрических катодов ниже, чем шероховатость пленок, полученных методом жидкофазного магнетронного распыления.

Таблица 1 – Результаты измерения шероховатости.

	ЖМР		Цилиндрические катоды	
Исх. Подл.	11	359	10	360
	68	-	51	313
	70	-	44	325
	98	-	51	292
	89	-	42	330
Ср	81	-	42	315

Оценку качеств адгезии покрытий проводили для полированных и шлифованных подложек. Контролировали адгезию путем измерения усилия на отрыв припоя ПОС63.

Результаты измерений приведены в таблице 2. Для обоих типов подложек значение адгезии превышает стандартное значение в два и более раз. Такие результаты могут быть обусловлены, качественной подготовкой подложек, дегазацией и предварительной ионно-лучевой очисткой в камере, а также большей степенью ионизации рабочего газа при традиционном магнетронном распылении, следовательно, и большей по сравнению с другими методами нанесения энергией распыляемых частиц меди.

Таблица 2 – Результаты измерения адгезии.

№	кг/мм ²	
	Полированная поверхность	Шлифованная поверхность
1	4,3 б/о	3,2 б/о
2	4,4 б/о	4,0 б/о
3	4,0 б/о	4,1 б/о
5	4,1 б/о	3,9 б/о
Среднее	4,2	3,8
Стандарт	2,0	1,2

Равномерность травления

Равномерность нанесения покрытия оценивали по результатам химического травления. Равномерность покрытия около 2% приводит к высокой равномерности травления топологии на подложках. Геометрия край-центр отличается не более чем на 8-10 мкм в линейном направлении, что значительно превосходит требования (рис. 2). Количество протравов по причине несплошности маски или из-за наличия микрокапель минимально.

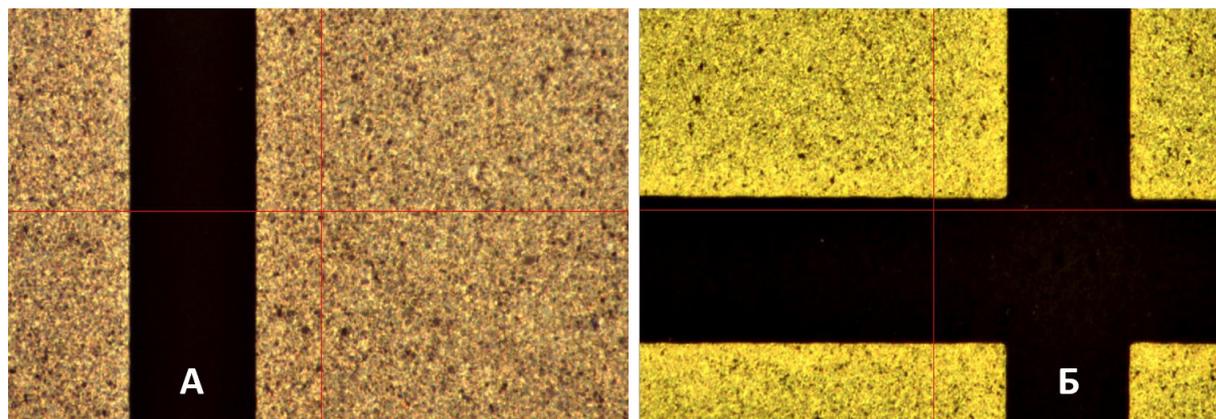


Рис. 2. Край экранов и площадок при травлении $\times 20$.

Вместе с тем стоит отметить, что на подложках могут присутствовать единичные дефекты. Обнаружены несколько видов дефектов: типа “капель” и типа вкраплений. Размеры дефектов варьируются от 5 до 50 мкм. Формирование дефектов такого типа может быть обусловлено осаждением кластеров или микрокапель в процессе быстрого нанесения пленки.

Таким образом, в результате проведенного исследования качества и характеристик слоев двухсторонней металлизации можно выделить следующие основные особенности:

- толщина осаждаемой металлизации соответствует расчетным значениям, то есть возможно нанесение проводящих покрытий без перегрева и деградации слоев со скоростями нанесения более 250 нм/мин, используя традиционные методы магнетронного распыления;
- шероховатость функциональной пленки меди в 2 раза ниже, чем при использовании жидкофазного магнетронного распыления;
- адгезия проводящих слоев меди в два раза выше типично требуемых значений;
- значительно повышается равномерность травления проводящего слоя меди вследствие повышения равномерности осаждения при использовании протяженных цилиндрических катодов;

- использование традиционного магнетронного распыления позволяет наносить плотные пленки с малым количеством дефектов, что позволяет маскирующим слоям отлично выдерживать процесс травления.

Заключение

В рамках расширения производства ООО «РМТ» реализовано осаждение многослойной металлизации с толщиной медного слоя более 20 мкм на установке SNTepsilon 74M. Двухстороннее нанесение металлизации проводилось в одном вакуумном цикле методом магнетронного распыления цилиндрических катодов. Скорость нанесения меди составляла 240-360 нм\мин, общее время нанесения металлизации – 150-230 минут при мощности распыления 16-22 кВт и объеме загрузки 80 подложек 60*48 мм. Для определения качества покрытия и соответствия металлизации регламентам производства проведена оценка шероховатости поверхности, линейных размеров дефектов и их количества, изучены равномерность травления, измерена адгезия до и после термоциклирования. Показано, что шероховатость слоев металлизации при осаждении с использованием цилиндрических катодов снизилась в два раза. Установлено, что адгезия составляет 4,2 кг/мм² для полированной поверхности и 3,8 кг/мм² для шлифованной поверхности, что более чем в 2 раза превышает требуемые значения. Таким образом, все проведенные измерения и испытания показали высокие характеристики слоев металлизации и пригодность проводящих слоев меди на керамических пластинах, произведенных с использованием установки SNTepsilon 74M для сборки термоэлектрических охладителей. Полученные результаты позволили существенно увеличить мощности производства, повысить выход годных изделий и качество выпускаемой продукции.

Литература

1. И. Кокорева. Отечественная силовая электроника. Фирмы-производители. Электроника: НТБ. 2007. №3. С. 26-33;
2. <http://www.genco.com/rotatable-magnetron>
3. М.В. Макарова, Д.Д. Васильев, К.М. Моисеев, Будущее машиностроения: сб. тр. 9-ой всероссийской конференции молодых ученых и специалистов / МГТУ имени Н.Э. Баумана. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016 – С. 298 – 305.