

Повышение адгезии токопроводящих покрытий на подложках оксида алюминия

Л.Л. Колесник, Мьо Чжо Хлаинг, Зао Пхо Аунг, Мьо Мин Латт
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
105005, Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 1
e-mail: kolesnik@bmstu.ru

В работе представлены результаты исследования использования подслоя титана для повышения адгезии токопроводящих покрытий к подложкам оксида алюминия.

Increasing the adhesion of current-conducting coatings on alumina substrates. L.L.Kolesnik, Myo Kyaw Hlaing, Zaw Phyo Aung, Myo Min Latt. The paper presents the results of the investigation of a titanium sublayer use to increase the adhesion of conductive coatings to alumina substrates.

Для отработки технологии для нанесения тонких пленок в вакууме в 2016 году в Московском Государственном Техническом Университете имени Н.Э. Баумана были проведены работы по модернизации лабораторной установки. Модернизация позволила отработать на установке процесс магнетронного метода нанесения тонкопленочных покрытий на образцы алюмооксидной керамики.

Процесс модернизации заключался в монтаже газовой и магнетронной систем, что обеспечило технологическую базу для отработки процессов нанесения тонкопленочных покрытий.

Для установки магнетрона был спроектирован и изготовлен специальный фланец. С помощью системы охлаждения к магнетрону постоянно подводится охлажденная вода по замкнутому контуру. Это предотвращает перегрев устройства и его размагничивание. Однако система охлаждения реализована таким образом, чтобы охлаждались только магниты. Сама же мишень не охлаждается, и в процессе работы разогревается до температуры около 900 °С.

После проведения установочных работ была проведена серия экспериментов по нанесению покрытий. В качестве материала мишени использовались титан, а в качестве материала подложки использовалась корундовая керамика.

В ходе проведения экспериментов по нанесению покрытий перед началом нанесения проводилась тренировка мишени в течение 5 минут. Признаком окончания тренировки являлся резкий рост тока с его последующей стабилизацией. Одновременно с очисткой происходил нагрев мишени до температуры около 800 градусов Цельсия, после нанесения производилось с горячего катода.

Были проведены предварительные исследования и определены диапазоны подачи газа и мощности, при которых получают покрытия без визуальных дефектов. Для титана эти значения составили: подача газа 30 сссм, диапазон мощности: от 350 до 420 Вт, диапазон тока от 520 до 600 мА. На этих режимах была проведена серия экспериментов по нанесению пленки титана на подложку оксида алюминия.

Режимы, при которых проводилось нанесение покрытий, приведены в таблице 1.

Образцы были исследованы на показатели адгезии по методу сетчатых надрезов и на отрыв. В первом случае образцы царапались в двух направлениях, а во втором от пленки отрывался приклеенный «грибок».

Таблица 1. Режимы нанесения титана при стабилизации мощности.

Номер	Подача газа (Q, sccm)	Мощность (P, Вт)	Давление в камере (P, мбар)	Напряжение (U, В)	Ток (I, mA)	Время осаждения (t, мин)
1	30	350	$4,3 \times 10^{-2}$	от 630 до 673	от 550 до 510	5
2	30	385	$4,4 \times 10^{-2}$	от 690 до 750	от 570 до 530	5
3	30	420	$4,3 \times 10^{-2}$	от 745 до 770	от 580 до 510	5

Все образцы показали высокие значения адгезии. По методу сетчатых надрезов максимальный показатель составил 5В, а при проверке усилие отрыва составило от 5,5 до 8 МПа, причем разрушение происходило по клею, которым грибок был приклеен к покрытию. Следовательно, реальные значения адгезии не менее значений, представленных в таблице 2. Для дальнейших измерений адгезии будет использоваться метод отрыва с припаянными грибками, что позволит избежать разрушения соединения грибок-покрытие.

Таблица 2. Результаты измерения адгезии для полученных образцов пленок титана.

Номер образца	Мощность (P, Вт)	Померенное значение адгезии методом сетчатых надрезов	Померенное значение адгезии методом отрыва	Примечание
1	350	5 В	$5,5 \text{ Н/мм}^2$	Разрушение по стыку клей-пленка
2	385	5 В	8 Н/мм^2	
3	420	5 В	6 Н/мм^2	

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования выбранных режимов для нанесения подслоя титана в качестве адгезионного под материалы, которые используются при пайке компонентов (медь, олово-золото и др.).

Вторая серия экспериментов была направлена на использование полученных результатов при формировании токопроводящих медных покрытий. Выполнялась проверка возможности использования получаемых слоёв титана в качестве адгезионного подслоя под медной плёнкой.

Медная тонкая пленка осаждалась на подложке методом термического испарения. Адгезионный слой был нанесен с использованием метода магнетронного распыления. Перед нанесением покрытий поверхность подложки Al_2O_3 была очищена в ультразвуковой ванне в течение 10 мин при температуре 25 градусов Цельсия. При ультразвуковой очистке крупные жировые загрязнения удаляются вследствие интенсивного локального перемешивания под действием создаваемых в растворителе ударных волн. Недостатком такой подготовки поверхности является то, что эта обработка в принципе не обеспечивает удаление физически адсорбированной влаги, тем более хемосорбированной [3].

Были получены образцы однослойных покрытий меди и двуслойных покрытий титан-медь. Режимы формирования покрытий представлены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Полученные образцы были измерены на значения адгезии с помощью метода отрыва. Сначала медный провод припаяли в центре поверхности образцов, а после с помощью динамометра припаянный провод отрывался с поверхности перпендикулярно ее плоскости. Значение силы отрыва фиксировалось.

Таблица 3. Режимы нанесения однослойного (медного) покрытия.

Номер образца	Покрытие	Способ нанесения покрытия	Давление в камере (Р, мбар)	Мощность (W, кВт)	Время осаждения (t, мин)
1	Cu	Термическое испарение	$1,3 \times 10^{-3}$	0,20	5
2	Cu	Термическое испарение	$1,0 \times 10^{-3}$	0,20	5
3	Cu	Термическое испарение	$8,7 \times 10^{-4}$	0,20	5

Таблица 4. Режимы нанесения двухслойного (Ti+Cu) покрытия.

Номер образца	Покрытие	Способ нанесения	Подача газа (Q, sccm)	Давление в камере (P, мбар)	Мощность (W, кВт)	Время осаждения (t, мин)
1	Ti	Магнетронное распыление	30	$1,2 \times 10^{-2}$	0,38	5
	Cu	Термическое испарение	-	$1,3 \times 10^{-4}$	0,20	5
2	Ti	Магнетронное распыление	30	$1,3 \times 10^{-2}$	0,38	5
	Cu	Термическое испарение	-	$1,0 \times 10^{-4}$	0,20	5

Результаты измерения адгезии для однослойного медного и двухслойных покрытий представлены в таблице 5.

Добавление слоя титана увеличило прочность сцепления токопроводящего медного слоя с подложкой оксида алюминия в 7 раз по сравнению с однослойным медным покрытием, полученным на аналогичной подложке. Это может быть связано с высокой реакционной способностью титана, который активно взаимодействует с подложкой.

Таблица 5. Результаты измерения адгезии для однослойного медного и двухслойного покрытия титан-медь.

Номер образцов	1	2	3	4	5	6	7
Мощность термического испарения (кВт)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Мощность магнетронного распыления (Вт)				380	380	380	380
Площадь припаянного провода (мм ²)	36	36	36	16	14	49	70
Померенное значение адгезии однослойного покрытия (Н)	<5	<5	<5				
Померенное значение адгезии двуслойного покрытия (Н)				40	40	45	46

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования подслоя титана в качестве адгезионного слоя под материалы, которые используются при пайке компонентов (медь, олово-золото и др.).

Литература

1. Колесник Л.Л., Жулева Т.С., Предтеченский П.О., Мьо Чжо Хлаинг, Зао Пхо Аунг Обработка технологии металлизации алюмооксидной керамики для элементов электровакуумных приборов и устройств силовой электроники // Вакуумная техника и технологии – 2017: Труды 24-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. / под. Ред. д-ра техн. наук А.А. Лисенкова. – Спб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. с. 208-210.
2. Handbook of deposition technologies for films and coatings: science, applications and technology / ed. by P.M. Martin. - 3rd ed. – Burlington; Oxford: William Andrew / Elsevier, 2010. – xviii, 912 p.: ill. – Bibliogr. at the end of the chapters. ISBN 978-0-8155-2031-3
3. А. Г. Лучкин, Г. С. Лучкин, Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами.

Построение агентной имитационной модели анализа процессов управления потоками полуфабрикатов в многокластерных установках

И.Н. Куликов, Л.Л. Колесник

*Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005,
Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
e-mail: kulik1998@gmail.com, kolesnik@bmstu.ru*

В статье представлена имитационная модель многокластерного технологического комплекса (МТК), построенная на основе одного из трех основных подходов – агентного моделирования. Данный подход позволяет строить модели многокластерных комплексов практически любой сложности.

Construction of the agent imitation model for the analysis of the management processes of streams of semi-finished products in multicluster installations. I.N. Kulikov, L.L. Kolesnik. The article presents an imitation model of a multicluster technological complex built on the basis of agent modelling. This approach allows one to build models of complicated multicluster constructions.

Одним из самых массовых производств на сегодняшний день является полупроводниковое производство, оборудование для которого из года в год становится все более технологичным. Для осуществления операций в едином вакуумном цикле все чаще используется многокластерное вакуумное оборудование. Для создания такого сложного единого комплекса требуется решение задач, связанных с взаимодействием технологических модулей между собой с целью обеспечения необходимых качественных характеристик технологического процесса. Для решения таких целей целесообразно использовать методы, основанные на системных представлениях многокластерного оборудования и его имитационном моделировании.

Многокластерный технологический комплекс (МТК) – это установка, осуществляющая выполнение технологических процессов в дискретно-непрерывном режиме. Для анализа таких сложных систем недостаточно традиционных методов и моделей, ввиду того, что при введении новых факторов или изменения системной динамики зачастую требуется полностью перестраивать аналитическую модель.