

УДК 535.33-32

ИНДУЦИРОВАННЫЙ ВУФ ИЗЛУЧЕНИЕМ СПОСОБ ХИМИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ, АМОРФНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

К. С. Гочелашвили, М. Е. Земсков, А. М. Прохоров, А. И. Сизов

Исследован процесс металлизации поликристаллических, аморфных и органических диэлектриков химическим способом, индуцированным ВУФ излучением, обеспечивающим высокую адгезию металла к исследуемым поверхностям. В отличие от обычного способа химической металлизации диэлектриков исключается ряд экологически вредных процессов, увеличивается производительность и адгезия, а также появляется дополнительная возможность нанесения произвольного металлического рисунка с разрешением 10 – 50 мкм.

Известен процесс химического нанесения металлов на диэлектрики, который заключается в том, что на специально подготовленную (активированную) поверхность диэлектрика в ванне с соответствующим химическим раствором наносится без воздействия электрического тока металлическое покрытие. Стадия активации поверхности чрезвычайно важна, т.к. она обеспечивает адгезию наращиваемого слоя металла с поверхностью.

Индукцированный ВУФ излучением способ химической металлизации отличается стадией активации поверхности, которая обеспечивается физическим методом.

Для активации диэлектрика чисто химическим способом требуется два этапа: 1) сенсibilизация и 2) собственно активация. Для сенсibilизации очищенную и обезжиренную поверхность диэлектрика погружают на несколько минут в кислые или щелочные растворы солей олова и промывают водой. При промывании водой соли олова

гидролизуются, и на поверхности оседают довольно значительные количества (до десяти миллимолей на 1 м^2) малорастворимых продуктов гидролиза, образующих слой толщиной в несколько сотен нанометров. Поверхность становится гидрофильной и способной связывать ионы благородных каталитически активных металлов. Последующий процесс активирования заключается в погружении сенсibilизированной поверхности в разбавленные растворы солей палладия или серебра. После этого обычно следует еще ряд химико-технологических операций, в результате которых на поверхности образуется слой каталитически активного палладия, на который впоследствии и осаждается требуемый металл.

Индукцированный ВУФ излучением способ активации поверхности диэлектрика включает следующие операции. 1) Подготовка поверхности: очистка, обезжиривание и т.д., в частности, ряд этих операций может быть выполнен непосредственно облучением поверхности ВУФ излучением. 2) Нанесение на подготовленную поверхность тонкого слоя (толщиной менее микрона) раствора (например, в хлороформе) ацетата палладия – вещества, способного разлагаться под действием ВУФ излучения на палладий. 3) Облучение таким образом подготовленной поверхности ВУФ излучением, в результате чего на поверхности диэлектрика образуется прочно сцепленный тонкий слой каталитически активного палладия.

Далее осуществляется общая для двух процессов стадия химического осаждения металла. Из сравнения чисто химического метода активации поверхности и индуцированного ВУФ излучением метода следует, что последний существенно проще и экологичней.

Квант ВУФ излучения в диапазоне длин волн $50 - 200 \text{ нм}$ обладает энергией $20 - 6 \text{ эВ}$, а энергия связи атома в твердом теле порядка 10 эВ . Поэтому обработка ВУФ излучением обеспечивает хорошую адгезию палладия с поверхностью.

Описание экспериментальной установки. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Главной ее частью является специально разработанный мощный газоразрядный источник некогерентного ВУФ излучения с параметрами: 1) режим работы импульсно-периодический; 2) частота следования импульсов $10 - 25 \text{ Гц}$ и ограничивалась только применяемым источником питания; 3) в зависимости от спектрального диапазона КПД составляет $10 - 20\%$; 4) спектральные диапазоны: $60 - 100 \text{ нм}$ (с максимумом на 60 нм) и $110 - 160 \text{ нм}$ (с максимумом на 120 нм); 5) размеры области, генерирующей ВУФ излучение, $\varnothing (50 - 70) \times 20 \text{ мм}^2$; 6) плотность потока мощности ВУФ излучения $10 - 50 \text{ мВт/см}^2$; 7) длительность импульса $0.4 - 0.8 \text{ мкс}$.

Поскольку на сегодняшний день не существует оптических материалов, прозрачных

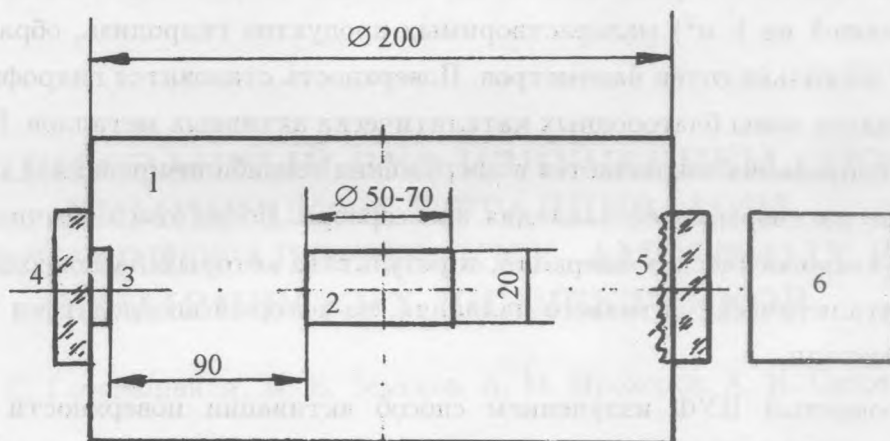


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 - камера с источником ВУФ излучения, 2 - источник ВУФ излучения, 3 - облучаемый образец, 4 - выходное окно, 5 - сцинтиллятор (салицилат натрия), 6 - фотоприемник.

в области менее 100 нм, то облучаемый образец (3) располагался непосредственно в камере (1) газоразрядного источника ВУФ излучения (2) на расстоянии не менее 90 мм от поверхности разряда. Геометрия держателя образца и характеристики камеры полностью исключали тепловое воздействие разряда на облучаемый образец.

На выходное окно (4), расположенное на таком же расстоянии от центра камеры (1), как и облучаемый образец, со стороны разряда наносился слой сцинтиллятора (5) (салициловокислый натрий), излучение которого регистрировалось фотоприемником ФЭК-22СПУ (6). Выходная энергия ВУФ, по которой производилась калибровка фотоприемника, предварительно измерялась калориметром ВЧД-22.

Экспериментальные результаты. Было исследовано осаждение металлов на следующие образцы.

1) Искусственно выращенный поликристаллический диэлектрик. Одна из его поверхностей была полированной и имела шероховатость < 1 мкм, вторая поверхность имела шероховатость ≈ 10 мкм. На каждую из поверхностей отдельно осаждалось металлическое покрытие из меди.

На предварительно обезжиренную и очищенную поверхность образца, без нарушения его поверхностной структуры, наносился тонкий (< 1 мкм) слой растворенного в хлороформе ацетата палладия. После высыхания образец с ацетатом палладия помещался в камеру (1), где облучался в течение 30 минут ВУФ излучением. Потом образец

помещался в ванну с раствором для химического осаждения меди [1]. Температура осаждения $20 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость осаждения $1 - 4\text{ мкм/час}$. Толщина осажденного слоя в наших экспериментах $3 - 6\text{ мкм}$. Время облучения образца определяется потоком квантов ВУФ и может достигать $1 - 3$ минут при интенсивности ВУФ излучения на образце $20 - 50\text{ мВт/см}^2$.

Исследование поверхности осажденного слоя меди с помощью электронного микроскопа (ЭМ) показало его высокое качество. Так, со стороны полированной поверхности диэлектрика размер зерен меди не превышал разрешения ЭМ ($< 1\text{ мкм}$). На шероховатой стороне форма осажденного металла повторяла рельеф поверхности и не имела каких-либо разрывов. Адгезия как со стороны полированной поверхности, так и с шероховатой была одинаковой. Проведенные тесты на адгезию позволяют заключить, что адгезия была не хуже $0.3 - 3\text{ Н/мм}^2$.

2) В качестве аморфного диэлектрика использовалось стекло. Процедура осаждения металла на стекло была полностью аналогична описанной выше, за исключением того, что поверхность стекла предварительно слегка матировалась в растворе плавиковой кислоты и на стекло наносился никель. Химический раствор для нанесения никеля описан в [1]. Скорость осаждения приблизительно 20 мкм/час , температура осаждения $40 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Адгезионные характеристики совпадали с приведенными выше.

3) В качестве органического диэлектрика использовался фторопласт. Обработка поверхности фторопласта как химическими (очистка, обезжиривание и т.д.), так и механическими методами с целью придания ей шероховатости не позволила металлизировать фторопласт указанным выше способом (для металлизации использовался никель), поскольку в процессе химического осаждения происходило отслаивание никеля от поверхности фторопласта. Успешное осаждение никеля было достигнуто только после того, как поверхность фторопласта перед нанесением ацетата палладия облучалась ВУФ излучением. Для подтверждения важности предварительного облучения поверхности было проведено облучение фторопласта электронным пучком ($U = 7\text{ кВ}$), что, как и в случае облучения ВУФ излучением, привело к успешному осаждению никеля. Кроме этого, для нанесения никеля пришлось специально модифицировать стандартный раствор, используемый для химического осаждения никеля.

Показано, что индуцированный ВУФ излучением способ химической металлизации позволяет эффективно и с хорошей адгезией металлизировать поликристаллические, аморфные и органические диэлектрики. Показано, что предварительное облучение поверхности ВУФ излучением позволяет увеличить адгезию. Дальнейшее совершенство-

вание источников ВУФ и применение метода CVD позволит металлизировать диэлектрики практически всеми известными металлами, недоступными обычным методам химической металлизации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вансовская К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом, под ред. П. М. Вячеславова, Л., Машиностроение, 1985.

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 6 ноября 1998 г.