

ФОРМИРОВАНИЕ МЕДНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПО ТОЛСТОПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИЙ

**Ш. Д. Курмашев, И. М. Викулин, А. Н. Софронков,
В. Э. Горбачев**

*¹Одесская Национальная академия связи им. А. С. Попова
ул. Кузнечная, 1, Одесса, Украина, 65029,
E-mail: kurmash12@gmail.com*

Разработаны физико-химические основы способа формирования медных проводников для гибридных интегральных микросхем на основе дисперсных наноконпозиций в воздушной атмосфере по толсто пленочной технологии:

- установлено влияние морфологии медного порошка и способов его получения на свойства толсто пленочных проводниковых элементов;

- определена зависимость электрофизических характеристик медных проводников, вжигаемых на воздухе, от химического состава стеклянной матрицы, соответствующего композиционного материала.

Изучена совместимость медных проводников с другими материалами проводниковых, резистивных и диэлектрических композиций и определены материалы для толсто пленочных элементов многослойных структур микросборок:

- установлена необходимость использования проводниковой композиции на основе бориды никеля, совместимой с медными проводниками, а также с резистивными и диэлектрическими и толсто пленочными элементами; оптимизирован состав композиции и определен способ формирования области контактного перехода;

- определено влияние оксида молибдена, входящего в состав резистивной композиции, на снижение ТКС резистивных пленок.

Теоретические и экспериментальные физико-химические исследования процессов, происходящих при вжигании медных проводников, позволили проследить изменение структуры медной и защитной композиции в процессе термообработки и определить механизмы процесса формирования медного проводника с использованием защитного слоя, заключающийся в сближении частиц меди, расплавлении стекла, образовании между спекаемыми частицами жидкой прослойки, восстановлении окисленных медных

частиц бором и твердофазном спекании частиц с выделением некоторой части стекла из объема проводника в поверхностные слои.

Показаны преимущества технологии получения медного порошка методом химического осаждения с использованием в качестве восстановителя аскорбиновой кислоты. Технологический процесс состоит из двух частей: на первой стадии из сульфата получают оксид меди, на второй стадии – из оксида меди синтезируется медный порошок.

Оптимизированы параметры технологического процесса получения медного порошка: степень чистоты исходных компонентов, концентрации и pH раствора, температурный режим синтеза.

Исследование адгезии медных проводников в зависимости от содержания оксида свинца в стеклянной матрице показало, что с увеличением содержания оксида свинца адгезия проводников к подложке уменьшается за счет частичного восстановления оксида свинца при вжигании медного проводника под слоем защитной композиции. Установлено преимущество использования медьсодержащих стекол в качестве стеклянной матрицы с целью улучшения смачивания частиц меди стеклом, уменьшения диффузионных процессов в системе “медный наполнитель–матрица”, а также повышения адгезии проводника к подложке.

Проведены систематические исследования защитной композиции $\text{SiO}_2 + \text{NaF} + \text{B}$ с различным содержанием их составляющих. Установлены оптимальные концентрационные пределы содержания в защитной композиции SiO_2 , NaF и B.

Оптимизированы составы медьсодержащей и защитной композиций и технологический режим их обработки методом экспериментальной оптимизации (построение линейной модели, выход в стационарную область методом Бокса-Уинстона, описание стационарной области с помощью полиномов второго порядка) при условии выбора в качестве целевых функций удельного поверхностного сопротивления проводников и их адгезии к подложке.

Проведена комплексная оптимизация технологии формирования медных проводников в воздушной атмосфере: оптимизированы составы медьсодержащей композиции, состоящей из порошка меди и разработанного стекла, защитной композиции, содержащей B, NaF и SiO_2 .

Параметры технологического процесса вжигания пленочных элементов: максимальная температура вжигания 760...768 °C, время выдержки при максимальной температуре 5...17 мин., скорость подъема температуры 46...62 град/мин, скорость снижения

температуры 44...60 град/мин. В рамках оптимизированных концентрационных и технологических факторов удельное поверхностное сопротивление медных проводников не превышает 0.02 Ом/м, а величина адгезии к подложке составляет не менее 70 кг/см²

Комплексное исследование совместимости проводниковых, резистивных и диэлектрических толсто пленочных элементов позволило установить необходимость формирования дополнительного проводникового слоя между медными проводниками и резистивными и диэлектрическими элементами микросборки. Разработан и оптимизирован состав композиционного материала на основе двухкомпонентного наполнителя Ni₃B+Ni и стеклянной матрицы.

Исследован метод импульсного инфракрасного вжигания медных и никелевых проводников. Для никелевых проводников $\rho_s \approx 0.02$ Ом/м, для медных $\rho_s \approx 0.001$ Ом/м. Обоснованы оптимальные режимы ИК-вжигания.

Изучены физические механизмы процесса электропроводности в толсто пленочных резисторах, изготовленных из композиций на основе кристаллизующегося стекла Al₂O₃-B₂O₃-ZnO-CdO. Определен способ эффективного влияния состава композиции на ТКС резисторов за счет введения триоксида молибдена. Установлена необходимость использования в композициях для низкоомных резисторов двухкомпонентного восстановителя В+Мо₂В₅ для обеспечения роли восстановителя и функционального материала на основе В+Мо₂В₅, более широкого регулирования ρ_s резистора.

Показано, что введение в состав композиций для низкоомных резисторов боросиликатного стекла системы SiO₂-CaO-Al₂O₃-BaO-B₂O₃ позволило скомпенсировать большой положительный ТКС резисторов с преобладающим типом металлической проводимости.