

УДК 621.793.1

С.М. Горбатюк, профессор, д-р техн. наук,

И.Г. Морозова, доцент, канд. техн. наук,

А.Н. Пашков, аспирант

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС",

Ленинский проспект, д. 4, г. Москва, 119991

A.N.Pashkov@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НАПЫЛЕНИЯ МЕДИ И ХРОМА МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Работа посвящена вопросам, связанным с нанесением пленок меди и хрома на диэлектрические подложки методом термического испарения в вакууме из резистивного испарителя на установке УВН-71П-3.

Ключевые слова: *термическое испарение, испаритель, удельное поверхностное сопротивление, сублимация хрома.*

Введение. На сегодняшний день существует множество современных способов получения тонкопленочных покрытий в вакууме, такие как термическое испарение, ионно-плазменное, магнетронное и плазменно-дуговое осаждение вещества. Развитию тонкопленочных технологий и получению покрытий посвятили свои работы известные ученые. Черняев В.Н., Смолин В.К., Березин В.М., Забейворота Н.С. и др. Одним из наиболее универсальных методов получения пленочных структур самого различного назначения является метод термического испарения в вакууме. Метод основан на нагреве веществ в специальных испарителях до температуры, при которой начинается заметный процесс испарения, и последующей конденсации паров вещества в виде тонких пленок на обрабатываемых поверхностях, расположенных на некотором расстоянии от испарителя.

Важным фактором, определяющим эксплуатационные особенности и конструкцию установок термического испарения, является способ нагрева испаряемых материалов: резистивный (омический) или электронно-лучевой. Этот метод давно и успешно используется в различных областях техники, в том числе для создания дискретных радиокомпонентов и элементов пленочных интегральных микросхем с хорошо воспроизводимыми электрическими параметрами [1].

Широкое использование этого метода основывается на возможности проведения большинства необходимых технологических операций в контролируемых и «чистых» условиях. В связи с технологичностью и простотой процесса нанесения покрытий установки термического испарения в вакууме УВН имеют широкое применение в отечественной промышленности.

Целью данной статьи является исследование технологических процессов формирования проводящих слоев на подложках на установке УВН-71П-3 и их оптимизация.

Основное содержание работы. С целью увеличения производительности процессов напыления и улучшения качества электропроводящих слоев в работе решались следующие задачи:

- исследование зависимости толщины медной пленки от навески (количества гранул меди);
- влияние качества обработки поверхности подложки на удельное поверхностное сопротивление хрома;
- влияние размера зерна навески хрома на скорость сублимации хрома;
- определение срока службы испарителя.

В данной работе применялся метод резистивного нагрева испарителей на установке термического испарения УВН-71П-3. Достоинства резистивного нагрева – высокий КПД, низкая стоимость оборудования, безопасность в работе (низкое напряжение на зажимах) и малые габаритные размеры. Факторами, ограничивающими применение испарителей с резистивным нагревом, являются возможность загрязнения наносимой пленки материалом нагревателя, а также малый ресурс работы из-за старения (разрушения) нагревателя, что требует его периодической (иногда довольно частой) замены.

Для получения приемлемых скоростей роста пленки, а также экономного расходования материала (нередко дорогостоящего) следует создавать условия движения частиц испаряемого вещества преимущественно по направлению к подложке. При этом необходим достаточно глубокий вакуум, при котором исключаются столкновения молекул остаточного газа с молекулами вещества и рассеивание их потока на пути к подложке.

От природы распыляемого вещества, температуры и состояния поверхности подложки, а также от скорости осаждения пленки зависит размер зерен, определяющих структуру и электрофизические свойства пленки. В основу теории зарождения и роста пленки положено понятие критического размера зерна. При превышении этого размера начинается устойчивый рост пленки. Критический размер зерна, или критический радиус, находится в обратно пропорциональной зависимости от температуры

плавления металла. Металлы с высокой температурой плавления, такие, как вольфрам, молибден, тантал, платина, образуют структуры с малой величиной зерна. В случае напыления металлов с низкой температурой плавления, таких, как кадмий, магний, цинк и др., величина критического радиуса будет большой и структура образующейся пленки — крупнозернистой.

Установка УВН-71П-3 оснащена испарителями лодочного типа из молибденовой фольги. Для снижения теплового потока из зоны испарения к зажимам токоподводов по краям полусферы имеются утонения сечения (шейки). Испарители лодочного типа предназначены для испарения относительно больших количеств вещества. Чтобы скомпенсировать деформации испарителя, его профиль усложнен отгибом лапок, которыми он крепится к зажимам токоподвода.

Методика эксперимента и результаты. Для решения поставленных задач был проведен ряд экспериментов по нанесению металлизующих покрытий на подложки в условиях высокого вакуума. В качестве исходных испаряемых металлов применялись хром (в виде порошка) и медь (в виде гранул).

Установка полуавтоматическая вакуумная резистивного напыления пленок УВН-71П-3 предназначена для обработки технологии напыления и серийного производства пленочных элементов и схем. Позволяет изготавливать тонкие пленки в высоком вакууме методом резистивного испарения материала. Резистивные испарители отжигают в вакууме, поверхность которых предварительно очищают, промывая в растворителях.

В конструкции установки УВН-71П-3 предусмотрен визуальный контроль полного испарения меди из испарителя, поэтому для получения пленки меди заданной толщины используется предварительно определенная зависимость толщины медной пленки от объема загрузки (в данной работе количества гранул меди). Следует отметить, что процесс напыления включает в себя этап предварительного разогрева испарителя, обезгаживания навески меди и доведения ее до плавления. Это происходит при закрытой заслонке, что приводит к неучтенной потере меди за счет осаждения на заслонку. Это особенно сказывается, когда количество испарений приближается к середине срока службы испарителя (рисунок 1).

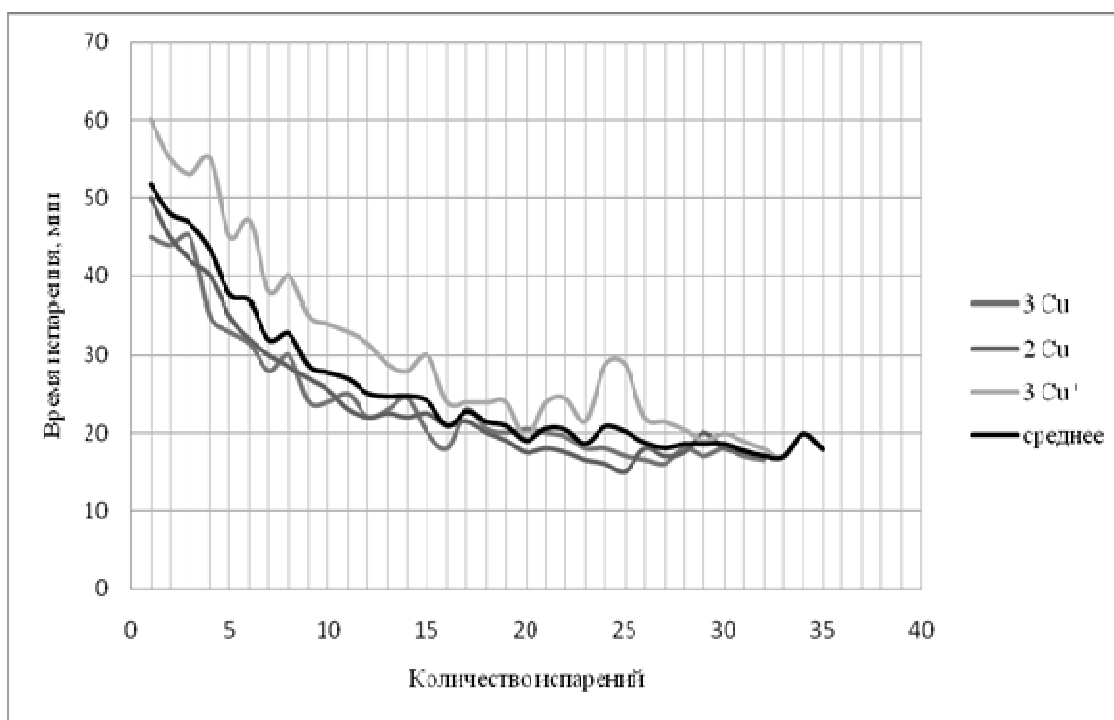


Рисунок 1 – Влияние количества испарений на время испарения (среднее значение по 3 испарителям)

Термическое испарение меди проводилось на 3-х испарителях. Был проведен анализ данных испарения меди на установке УВН-71П-3, на основании которого построена диаграмма срока службы испарителей. Объем загрузки испарителя составляет 35 гранул. Стоит отметить, что с увеличением количества испарений (на одном и том же испарителе) скорость испарения увеличивается. Достигается такой эффект за счет отжига, обезгаживания испарителя и приработки держателей испарителя и тоководов.

Для определения количества меди, которое теряется в процессе разогрева испарителя, испарение проводилось с предварительно открытой заслонкой. На рисунке 2 приведены сравнительные результаты измерений. Измерение толщины проводилось на микроинтерферометре МИИ-4.

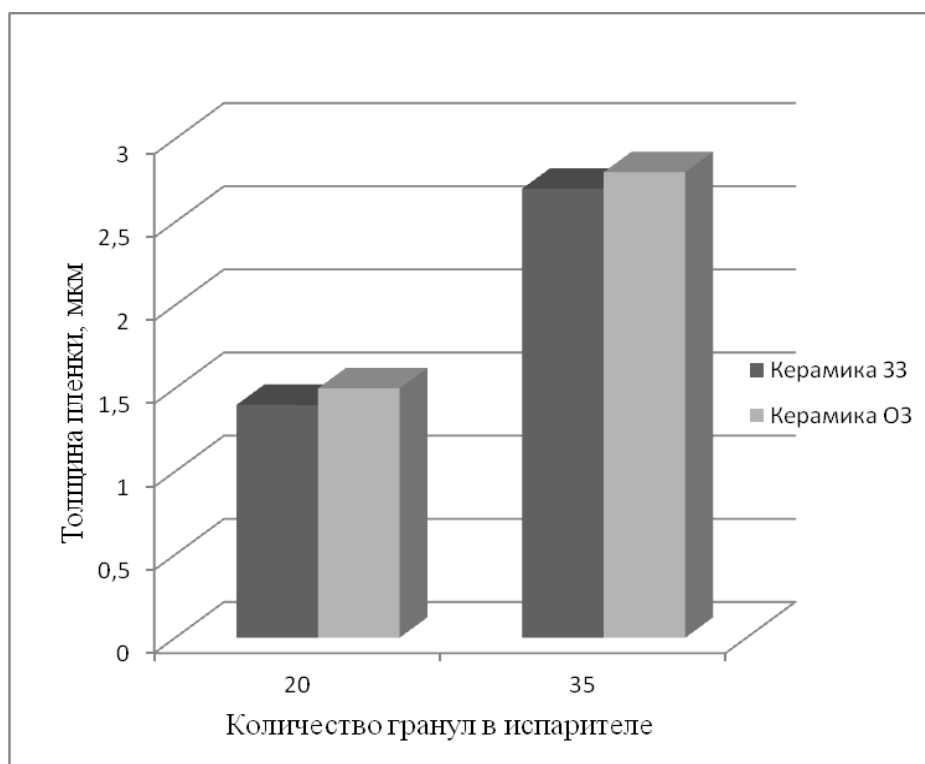


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости толщины медной пленки от количества гранул в испарителе

Известно [2], что для обеспечения адгезии медных пленок к диэлектрической подложке используется подслоя хрома, который осаждается в одном технологическом цикле с медью. В процессе напыления контроль удельного поверхностного сопротивления пленки хрома (ρ_s) на подложке проводится по сопротивлению «контрольного образца» (свидетель), который расположен в одной зоне напыления с подложкой. Напыление (сублимация) хрома производится из навески в виде порошка. Стоит отметить существенное влияние размера порошка хрома во время его сублимации. При одинаковой массе загружаемого порошка, но разным размере отдельных зерен хрома, время сублимации резко отличается. В работе использовались навески хрома со средним размером зерна в одной - 0,75мм, а в другой - 3мм.

Результаты оценки влияния среднего размера зерен хрома в навеске на скорость сублимации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние среднего размера зерен хрома в навеске на скорость сублимации

Средний размер зерен хрома в навеске, мм	Время напыления, мин	ρ_s , Ом/кв
3	11,00	70
0,75	4,00	71

Из таблицы 1 видно, что использование навески хрома со средним размером зерен 0,75 мм позволяет ускорить процесс формирования пленки хрома на подложки (в сравнении с использованием навески хрома со средним размером зерен 3 мм).

Как показано в [3], оптимальный диапазон значений удельного поверхностного сопротивления подслоя хрома для обеспечения адгезии медной пленки с подложкой находится 100 ± 30 Ом/кв. Поскольку, как указано выше, контроль проводится по свидетелю, необходимо учитывать различие в чистоте (шероховатости) механической обработки подложки и свидетеля.

Обсуждение результатов эксперимента. Для определения количества меди, которое теряется в процессе разогрева испарителя, был проведен процесс напыления с предварительно закрытой заслонкой, а затем – с предварительно открытой заслонкой.

Измерения толщин нанесенных пленок на подложках показали, что при термическом испарении меди (с предварительно закрытой заслонкой) в процессе разогрева испарителя значительное количество меди теряется за счет осаждения на заслонку. Соответственно чем меньше загрузка испарителя, тем больше будут сказываться потери при разогреве испарителя на конечную толщину медной пленки.

Выводы. Из полученных результатов следует, что в процессе эксплуатации испарителя зависимость толщины пленки от навески меди должна корректироваться, особенно для тонких пленок (менее 2 мкм).

Напыление (сублимация) хрома производилось из навесок в виде порошка 2-х фракций, размеры зерен которых составляют одной – 0,75 мкм, а в другой – 3 мкм. Установлено, что скорость напыления хрома зависит от гранулометрического состава навески. Результаты показали, что с уменьшением размера зерна порошка хрома скорость сублимации увеличивается, что связано с увеличением общей площади поверхности зерен.

В работе проведена оценка срока службы испарителей. На рисунке 1 приведена диаграмма срока службы испарителей. Экспериментально получено, что испарители выдерживают 32-35 испарений, после чего выходят из строя. При неправильной эксплуатации (попадании на крылья испарителя капля испаряемого вещества) срок службы испарителей резко сокращается. Также на срок службы влияет качество изготовления испарителя.

Перспективы дальнейших исследований в данной области. Результаты данной работы использовались для оптимизации технологических процессов формирования проводящих слоев меди и хрома на подложках из керамики на установке УВН-71П-3. Благодаря проведенным исследованиям появилась возможность использования полученных результатов для отработки технологических режимов на аналогичном оборудовании термического испарения в вакууме.

Библиографический список использованной литературы

1. Березин В.М. Методы формирования тонкопленочных структур: учеб. пособие // В.М. Березин, Н.С. Забейворота. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. — 154 с.
2. Технология тонких пленок (справочник) / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга; пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. — Нью-Йорк, 1970; М.: Сов. радио, 1977. — 768 с.
3. Черняев В.Н. Технология производства интегральных схем / В.Н. Черняев / Под ред. А.А. Васенкова. — М.: Энергия, 1977. — 49 с.

Поступила в редакцию 1.11.2013 г.

Горбатюк С.М., Морозова И.Г., Пашков А.Н. Оптимізація процесів напылення міді і хрому методом термічного випаровування у вакуумі

Робота присвячена питанням, пов'язаним з нанесенням плівок міді та хрому на діелектричні підкладки методом термічного випаровування у вакуумі з резистивного випарника на установці УВН-71П-3.

Ключові слова: термічне випаровування, випарник, питомий поверхневий опір, сублимація хрому.

Gorbatyuk S.M., Morozova I.G., Pashkov A.N. Optimization of the deposition process copper and chromium method of thermal evaporation in vacuum

Work is devoted to issues related to the application of copper and chromium films on dielectric substrate by thermal evaporation in a vacuum of a resistive evaporator installation UVN-71P-3.

Keywords: thermal evaporation, evaporator, surface resistivity, sublimation chromium.