

V.I.Kidyarov, A.V. Meshalkin // Journal of. Crystal Growth. – 2005. – V. 275. – P. e165-e175.

17. Зубова, К.В. Спектры осцилляций зародышевых кристаллов NaCl в водных растворах. / К..В. Зубова, А.В. Зубов, В.А.. Зубов // Журнал прикладной спектроскопии. – 2005. – Т.72. – № 6. – С. 766-772.

18. Vekilov, P.G. Two-step mechanism for the nucleation of crystals from solution. / P.G Vekilov // Journal of. Crystal Growth. – 2005. – V. 275. –№ 1-2. – P. 65-76.

19. Кидяров, Б.И. Температура и теплота плавления как основные критерии морфологической устойчивости роста кристаллов. / Б..И. Кидяров // Труды II международного симпозиума «Плавление, кристаллизация металлов и оксидов» (МСМО-2009). – Ростов-на-Дону (п. Лоо): Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ. – 2009. – С. 64-67.

20. Кидяров, Б.И. Предельная область метастабильности при кристаллизации расплавов неорганических и органических веществ. / Б.И. Кидяров // Труды I международного, междисциплинарного симпозиума «Плавление-кристаллизация металлов и оксидов» (МСМО-2007). – Ростов-на-Дону (п. Лоо): Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ. – 2007. – С.94-97.

21. Мисюль С.В. Симметричные и рентгенодифракционные исследования фазовых переходов в перовскитоподобных соединениях. Автореферат дисс. ... д.ф.-м.н: 01.04.07 / С..В. Мисюль. – Красноярск: Изд-во ИФ СО РАН. – 2009. – 39 с.

22. Kidyarov, V.I. Nucleation kinetics and technology design for crystal growth from aqueous solutions. / V.I. Kidyarov // Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology. – 2003. – V. 13. № 2. – P. 51-55.

УДК 621.36:539.216.2:669.782

## **О ТЕХНОЛОГИЯХ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ НА КЕРАМИЧЕСКУЮ ПОДЛОЖКУ**

В.К. Кумыков

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 360000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, kumykov@hotmail.com*

В работе дается обзор методов металлизации керамики, разработанных в последние годы. Наиболее эффективными из них являются нанесение металлосодержащей пасты на подготовленную поверхность с последующим отжигом покрытия в вакууме световым пучком; создание двухслойного металлического покрытия, в котором нижний слой выполняет буферные функции; использование для металлизации керамики с поверхностным слоем, армированным металлом.

Одной из актуальных задач микроэлектроники является разработка технологий металлизации керамики. При этом одним из основных требований технологического процесса является обеспечение высоких адгезионных свойств металлического покрытия на керамической подложке.

Распространенным способом металлизации керамики является покрытие ее поверхности металлосодержащей пастой с последующим лазерным отжигом в вакууме или отжигом в вакуумных печах [1-3]. При

отжиге металл плавится, покрывая тонким слоем поверхность керамики, а композиционная присадка испаряется. Основная цель отжига – расплавить пасту с тем, чтобы пленка жидкого металла покрыла поверхность керамики, заполняя микроскопические поры на ее поверхности.

Указанный метод имеет несколько существенных недостатков. Первый состоит в том, что в процессе отжига происходит нагрев керамики, приводящий к ухудшению ее свойств. Другой недостаток обусловлен тем, что нагревательные элементы, расположенные внутри камеры и изготавливаемые из тугоплавких металлов, обладают высокой упругостью паров, которые, осаждаясь на поверхность подложки, вызывают ее загрязнение.

С целью устранения указанных недостатков была разработана технология металлизации керамики, позволяющая проводить вакуумный отжиг покрытия без объемного прогрева подложки и загрязнения ее поверхности [4-6] (рис. 1). В основе метода лежит использование фокусированного теплового излучения ксеноновой лампы.

Установка состоит из размещенной на столе 1 вакуумной камеры 2, соединенной с насосом 3. В камере предусмотрен иллюминатор 4 для наблюдения. Внутри камеры на предметном столике 5 помещена керамическая подложка 6 с композиционным покрытием. Осветитель 7 с ксеноновой лампой 8 и вогнутым зеркалом 9 расположен вне камеры.

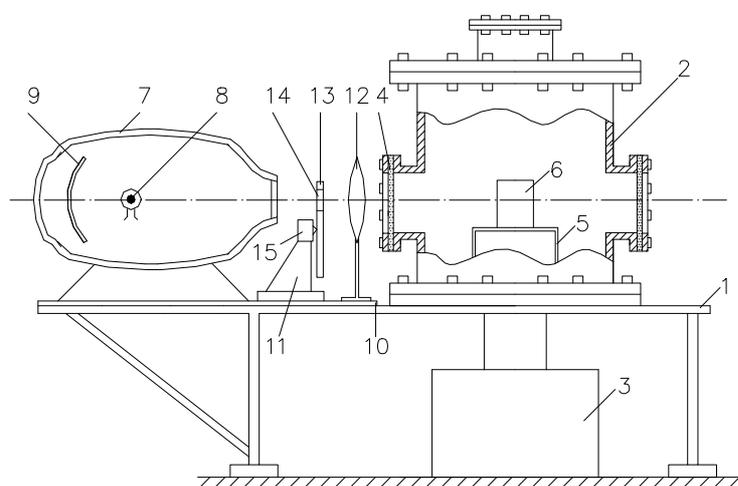


Рис. 1. Установка для металлизации керамики в условиях вакуума

Между осветителем 7 и иллюминатором 4 на салазках 10 помещены частотный прерыватель 11, позволяющий регулировать температуру образца, и собирающая линза 12. Частотный прерыватель 11 выполнен в виде вращающегося диска 13 с прорезями 14 для прохождения луча и приводом 15.

После установки подложки в камеру, ее герметизации и последующей откачки включается источник излучения. При этом пучок света от лампы направляется через частотный прерыватель, собирающую линзу и иллюминатор внутрь вакуумной камеры и, попадая на подложку, оплавляет композиционное покрытие. Время облучения столь мало (доли секунды), что керамика практически не успевает нагреться.

Регулирование направления светового пучка осуществляется путем перемещения собирающей линзы вдоль салазок, а режим облучения устанавливается с помощью частотного прерывателя. При этом излучение ксеноновой лампы практически не поглощается стеклом иллюминаторов вакуумной камеры, что исключает возможность нежелательного нагрева корпуса камеры, вакуумных магистралей и уплотнений. Полученное покрытие по своим свойствам удовлетворяет предъявляемым требованиям, а диэлектрические свойства керамики не ухудшаются.

Другим способом металлизации керамики [7-8] является предварительное формирование керамической порошковой субстанции, верхний слой которой перед горячим прессованием посыпается тонким слоем того же порошка с 50% примесью высокодисперсного металлического порошка, средний размер частиц которого составляет 50 мкм. Затем горячим прессованием формируется керамическая заготовка с армированным слоем толщиной 50 мкм. При этом частички металлического порошка размещены заподлицо с поверхностью керамической подложки так, как показано на рис. 2, и не имеют достаточной площади контакта с покрываемым слоем металла.

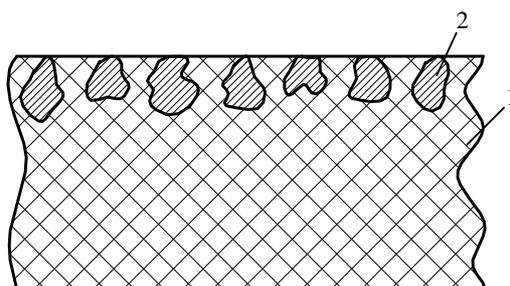


Рис. 2. Керамическая подложка после горячего прессования. 1 – подложка, 2 – металлические включения

Затем для повышения площади контакта методом шлифования с поверхности армированного слоя снимают тонкий слой, соответствующий примерно трети размера зерен металлического порошка (рис. 3).

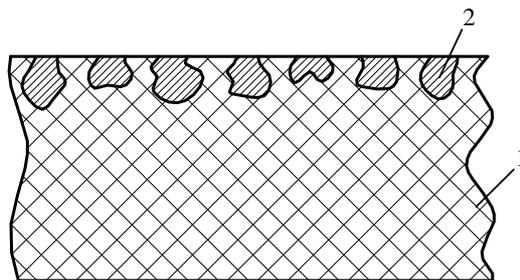


Рис. 3. Керамическая подложка после шлифовки

Частички металлического порошка примерно на две трети своего объема включены непосредственно в структуру керамической подложки, прочно удерживаясь монолитной субстанцией. После шлифовки на поверхность керамической подложки методом вакуумного напыления наносится металлическое покрытие (рис. 4). Напыление осуществляется на установке УВН при давлении 10-4 Па. Толщина металлического покрытия на поверхности керамического элемента контролируется по сопротивлению спутника.

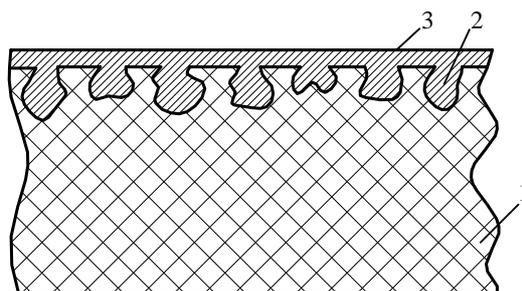


Рис. 4. Керамическая подложка с нанесенным покрытием. 3 – металлическое покрытие

После нанесения металлического покрытия образец подвергается фотонному отжигу, обеспечивающему плавление как внешнего слоя металла на поверхности подложки, так и частичек металла, находящихся в виде включений в поверхностном слое подложки. По достижении плавления металла в верхнем слое покрытия керамический элемент охлаждается в среде инертного газа без доступа кислорода до температуры порядка 25<sup>0</sup> С. Для этого используется аргон комнатной температуры, который напускается в вакуумную камеру с образцом в режиме, обеспечивающем изменение давления в ней до атмосферного в течение 15 минут. В результате на поверхности подложки образуется металлическое покрытие, прочно замоналиченное в керамическую массу.

Включение высокодисперсного металлического порошка в верхний слой керамической подложки существенно повышает адгезионные свойства металлического покрытия, исключая образование в нем раковин и разрывов, появляющихся при охлаждении подложки после отжига вследствие различия температурных коэффициентов расширения металла

и керамики. Рентгеноструктурные исследования, а также изучение морфологии металлического покрытия методом атомно-силовой микроскопии не выявили каких-либо признаков их эрозии, что свидетельствует о высоком качестве адгезионного покрытия.

Существенной трудностью создания высококачественных металлических покрытий является значительное различие коэффициентов термического расширения металлов и керамики, что приводит к тому, что при охлаждении металлизированной керамики вследствие различных скоростей усадки керамики и металлического покрытия происходит отслоение последней от подложки.

С целью улучшения качества металлического покрытия в [9] был разработан двухэтапный способ металлизации керамики, при котором вначале на покрываемую поверхность керамики методом вакуумного напыления наносится буферный слой металлического покрытия с низкой температурой плавления, а затем – основной, внешний слой металлического покрытия с более высокой температурой плавления, чем у буферного. Приготовленное таким образом двухслойное металлическое покрытие подвергается фотонному отжигу в атмосфере аргона при температуре плавления внешнего слоя. После этого металлизированная керамика охлаждается до комнатной температуры.

Толщина буферного слоя металлического покрытия составляет 0,1-0,2 мкм, в то время как суммарная толщина буферного и основного слоев металлического покрытия не превышает 0,1 толщины керамической основы.

Указанное техническое решение значительно снижает деформацию керамики, обусловленную различием термических коэффициентов расширения металла и керамики, повышая качество готового изделия. Снижение деформационных эффектов покрытия обусловлено тем, что в процессе охлаждения металлизированной керамики вначале твердеет внешний слой металлического покрытия, в то время как буферный слой еще находится в жидком состоянии. При этом внешний слой по мере охлаждения как бы скользит по буферному слою, еще находящемуся в жидком состоянии и не деформирует керамическую основу. С момента затвердевания буферного слоя дальнейшее охлаждение системы будет сопровождаться деформацией металлизированной керамики, однако она будет незначительной. Остаточные деформации, обусловленные охлаждением металлизированной керамики от температуры затвердевания буферного слоя до комнатной, сглаживаются правильным подбором толщины металлического покрытия, которое не должно превышать 0.1 толщины керамической основы.

В этих условиях усилие сопротивления керамики существенно превышает стягивающее усилие охлаждаемого слоя металла на ее поверхности, и значимой деформации не наблюдается, поскольку слой металла просто механически растягивается по всей поверхности силами сопротивления керамики. При этом усадочных раковин в металлическом покрытии, а также разрушений адгезионного слоя не наблюдается.

Ограничения толщины буферного слоя пределами 0,1-0,2 мкм и суммарной толщины слоя металлического покрытия пределом, не превышающим 0,1 толщины керамической основы, исключают деформации, обусловленные различием температурных расширений металла и керамики. В результате адгезионные свойства покрытия существенно улучшаются.

Данные пределы ограничений найдены нами опытным путем на примере хрома, имеющего достаточно высокую температуру плавления ( $1440^{\circ}\text{C}$ ) и алюминия, имеющего температуру плавления  $660^{\circ}\text{C}$ . Хром использовался в качестве основного внешнего слоя, а алюминий – в качестве буферного слоя.

Металлизации подвергались кремниевые подложки в форме круглых пластинок диаметром 60 мм и толщиной 200 мкм. Вакуумное напыление металлов на поверхность керамики осуществлялось на установке УВН-2М при давлении  $8 \cdot 10^{-4}$  Па. Фотонный отжиг керамики с двухслойным металлическим покрытием проводился некогерентным излучением ксеноновой лампы.

При проведении фотонного отжига источник излучения устанавливался вне вакуумной камеры, а воздействие тепловым потоком на металлизированную керамику осуществлялось через иллюминатор вакуумной камеры в течение времени, обеспечивающего плавление внешнего слоя металла. После плавления верхнего слоя покрытия керамический элемент охлаждался в аргоне до температуры  $25^{\circ}\text{C}$ .

Рентгеноструктурные исследования, а также изучение морфологии металлического покрытия методом атомно-силовой микроскопии не выявили каких-либо признаков их эрозии, что свидетельствует о высоком качестве адгезионного покрытия.

### **Библиографический список**

1. *Верещагин, Э.Д.* Импульсное вжигание металлических пленок в кремний / Э.Д. Верещагин, Г.А. Крысов, Е.А. Цехмейстер и др. // *Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ.* – 1983. – №10. – С. 57-59.
2. *Альтудов, Ю.К.* Лазерные микротехнологии и их применения в электронике / Ю.К. Альтудов, А.Г. Гарицын. – М.: Радио и связь, 2001. – 683 с.
3. *Гукетлов, Х.М.* Влияние некогерентного светового излучения на сопротивление контакта металл-кремний / Х.М. Гукетлов, В.К. Кумыков, Х.Т. Шидов, Р.З. Ошроева //

Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2003. – № 2. – С. 30-31.

4. Пат. 2263649 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 04 В 41/88. Способ нанесения металлического покрытия на керамический элемент / Кумыков В.К., Гукетлов Х.М.; заявители и патентообладатели Кумыков В.К., Гукетлов Х.М., Гедгагова М.В., Жекамухов М.К. - №2003135115/03; заявл. 02.12.03; опубл. 10.11.05, Бюл. №31. – 5 с.

5. Гукетлов, Х.М. Влияние фотонного отжига на структуру и электрические свойства тонких металлических пленок на кремнии / Х.М. Гукетлов, А.В. Демченко, В.К. Кумыков, А.Р. Манукянц, В.М. Фетисова // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2006. – № 3. – С. 77-79

6. Кумыков, В.К. Математическое моделирование технологии металлизации керамики / В.К. Кумыков // Известия РАН. Серия физическая. – 2008. – № 4. – С. 586-588.

7. Пат. 2263650 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 04 В 41/90, С 04 В 41/88. Способ металлизации керамики / Кумыков В.К., Гукетлов Х.М.; заявители и патентообладатели Кумыков В.К., Гукетлов Х.М., Гедгагова М.В., Жекамухов М.К. - №2003135114/03; заявл. 02.12.03; опубл. 10.11.05, Бюл. №31. – 4 с.

8. Кумыков, В.К. Об одном способе металлизации керамики / В.К. Кумыков, М.М. Абазехов, М.В. Гедгагова, Х.М. Гукетлов // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Химия поверхности и нанотехнология». – СПб.: Изд-во СПбГТИ, 2006. – С. 186-188.

9. Пат. 2354632 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> С 04 В 41/90, С 04 В 41/91. Способ металлизации керамики / Созаев В.А., Кумыков В.К., Сергеев И.Н., Гукетлов Х.М., Гедгагова М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова. - №2007106359/03; заявл. 19.02.07; опубл. 10.05.09, Бюл. №13. – 5 с.

УДК 621.36:539.216.2:669.782

## К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ СТЕФАНА ДЛЯ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ

В.К. Кумыков

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,  
360000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, kumtykov@hotmail.com*

В работе проводится анализ решения задачи Стефана с фазовыми превращениями для модели процесса металлизации керамики пучком некогерентного светового излучения. Задача, в которой керамическая подложка вместе с нанесенной на ее поверхность металлосодержащей пастой рассматривается как плоская двухслойная среда, простирающаяся в бесконечность, решается квазистационарным методом Лейбинсона.

Создание тонких высокоадгезионных металлических покрытий на керамических подложках является одной из актуальных задач микроэлектроники. Высокие требования, предъявляемые как к металлическому покрытию, так и к подложке, накладывают существенные ограничения по времени отжига поверхности керамики, покрытой металлосодержащей пастой. При этом технология отжига должна обеспечить испарение композиционной присадки с одновременным наплавлением металлической пленки в течение малого промежутка