

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

4. Пат. 2263649 Российская Федерация, МПК⁷ 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, МПК⁷ 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, МПК⁷ 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

времени, в течение которого заметного нагрева керамики, приводящего к ухудшению ее диэлектрических свойств, не происходит.

В [1-3] предложены технологические решения, удовлетворяющие указанным требованиям. Наиболее удачным из них является метод, описанный в [2]. Его сущность состоит в вакуумном отжиге керамической подложки с металлосодержащей пастой, при котором нагрев металлизуемой поверхности осуществляется за счет кратковременного (доли секунды) облучения подложки мощным источником теплового излучения, расположенным вне рабочего объема. Световой пучок, проходя в вакуумную камеру через иллюминатор с собирающей линзой, фокусируется на подложке со стороны технологического покрытия, наплавляя металл на поверхность подложки. Разработанный метод обеспечивает получение высокоадгезионного металлического покрытия без заметного нагрева подложки и загрязнения рабочего объема камеры.

Для теоретического описания технологического процесса металлизации в [4,5] была разработана математическая модель, в которой керамическая подложка с нанесенной на ее поверхность металлосодержащей пастой рассматривается как плоская двухслойная среда, простирающаяся в бесконечность. Такое допущение было сделано в связи с тем, что диаметр керамической подложки, изготовленной в виде таблетки, существенно превосходит ее толщину. При этих условиях влиянием боковых границ на теплофизические процессы, протекающие в двухслойной среде, можно пренебречь.

Математическая задача о металлизации керамики относится к типу задач с фазовыми превращениями (задача Стефана), в которых определяется температурное поле в областях с подвижными границами раздела фаз, а также устанавливается закон перемещения этих границ.

Наиболее эффективным методом решения задач указанного типа является квазистационарный метод Лейбнсона, в котором предполагается, что температурные поля как в керамической подложке, так и в металлосодержащей пасте близки к стационарным.

Для координаты фронта испарения композиционной присадки $\xi(t)$ в [4] получено уравнение

$$\xi - \frac{\lambda_2(T_{nn} - T_0)}{q(1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1})} \ln \left[1 - \frac{\xi(1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1})}{H + \frac{\lambda_2}{\lambda_1}h - \frac{\lambda_2}{q}(T_{nn} - T_0)} \right] = \frac{q}{\rho L} t. \quad (1)$$

Здесь q – интенсивность светового потока, λ_1 – коэффициент теплопроводности металлосодержащей пасты, h – ее толщина, T_{nn} – температура плавления металла, содержащегося в пасте, T_0 – температура границы раздела подложки и пасты, λ_2 – коэффициент теплопроводности

керамической подложки, H – ее толщина, ρ – ее плотность, L – удельная теплота, состоящая из двух слагаемых – удельной теплоты плавления частиц металлического порошка, содержащегося в пасте, и удельной теплоты испарения композиционной присадки:

$$\rho L = \gamma \rho_{\kappa} L_{ucn} + (1 - \gamma) \rho_{\mu} L_{nl},$$

где γ – доля композиционной присадки в пасте, L_{ucn} – ее удельная теплота испарения, L_{nl} – удельная теплота плавления металла, ρ_{κ} и ρ_{μ} – плотности композиционного материала и металла соответственно. В условиях эксперимента $\gamma \approx 1$ т.е. $\rho L \approx \rho_{\kappa} L_{ucn}$.

В момент полного испарения композиционного материала, т.е. при $t = \tau$ величина $\xi = h$. При этом из равенства (10) следует:

$$\tau = \frac{\rho L h}{q} \left[1 - \frac{\lambda_2 (T_{nl} - T_0)}{q h (1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1})} \ln \left(1 - \frac{h (1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1})}{H + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} h - \frac{\lambda_2}{q} (T_{nl} - T_0)} \right) \right]. \quad (2)$$

Принимая во внимание, что $\frac{h}{H} \ll 1$ и, следовательно, второе слагаемое под логарифмом значительно меньше единицы, получим

$$\tau = \frac{\rho L h}{q} \left[1 + \frac{\lambda_2 (T_{nl} - T_0)}{H q} \frac{1}{1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{h}{H} - \frac{\lambda_2 (T_{nl} - T_0)}{H q}} \right]. \quad (3)$$

Здесь $q_2 = \frac{\lambda_2 (T_{nl} - T_0)}{H}$ – поток тепла в объем керамической подложки.

Следовательно, можно записать

$$\tau \cong \frac{\rho L h}{q} \left[1 + \frac{q_2}{q} \frac{1}{1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{h}{H} - \frac{q_2}{q}} \right]. \quad (4)$$

При выводе формулы (1) предполагалось, что поток световой энергии полностью поглощается поверхностью металлосодержащей пасты. В действительности часть падающей энергии отражается, поэтому q надо заменить на $q' = q(1 - k_0)$, где k_0 – коэффициент отражения. При этом формула (4) принимает вид

$$\tau = \frac{\rho L h}{q(1 - k_0)} k, \quad (5)$$

$$\text{где } k = 1 + \frac{q_2}{q(1-k_0)} \frac{1}{1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{h}{H} - \frac{q_2}{q(1-k_0)}} \approx 1 + \frac{q_2}{q(1-k_0)} \frac{1}{1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{h}{H}}.$$

При $\lambda_1 \sim \lambda_2$ и $\frac{h}{H} \ll 1$ последнее выражение упростится:

$$k = 1 + \frac{q_2}{q(1-k_0)}. \quad (6)$$

Таким образом, коэффициент k учитывает влияние потока тепла внутрь керамической подложки на длительность процесса покрытия подложки металлической пленкой. Чем больше отношение тепловых потоков $\frac{q_2}{q(1-k_0)}$, тем продолжительнее процесс металлизации керамики.

Вместе с тем, в [4,5] для времени τ приводится формула $\tau = \frac{kQ\rho h}{q(1-k_0)}$,

где ошибочно считается, что k – коэффициент отражения, а k_0 – эмпирический коэффициент порядка 1,2 в условиях эксперимента. На самом деле k – эмпирический коэффициент, который на основе теоретических расчетов уже определяется формулой (6), а k_0 – коэффициент отражения.

Таким образом, практически значения τ , определяемые формулой (6) и на основе экспериментальных измерений, совпадают, т.е. физический смысл коэффициента k теоретическим путем полностью раскрыт с той оговоркой, что $\rho Q \approx \rho_n L_{исп}$, т.е. процесс металлизации керамической подложки определяется не плавлением частиц металла, а испарением пасты.

Библиографический список

1. Пат. 2354632 Российская Федерация, МПК⁷ 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.
2. Пат. 2263649 Российская Федерация, МПК⁷ 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.
3. Пат. 2263650 Российская Федерация, МПК⁷ 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.
4. Кумыков, В.К. Математическое моделирование технологии металлизации керамики / В.К. Кумыков // Известия РАН. Серия физическая. – 2008. – № 4. – С. 586-588.

5. Кумыков, В.К. О моделировании процесса металлизации керамики в условиях вакуума / М.К. Жекамухов, М.К. Кумыков // Труды IX международного симпозиума «Порядок, беспорядок и свойства оксидов». 19-23 сентября 2006 г. - Ростов н/Д: ИПО ПИ ЮФУ, 2006. – С. 191-194.

УДК 544.7

СОРБЦИЯ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА ЧАСТИЦАМИ НАНОРАЗМЕРНОГО МАГНЕТИТА

О.Д. Линников, И.В. Родина, В.Г. Шевченко, А.Е. Ермаков*, И.В. Медведева*, А.А. Мысик*, М.А. Уймин*, Н.Н. Щеголева*, В.В. Платонов**, В.В. Осипов**

Институт химии твердого тела УрО РАН,

620999, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91, linnikov@mail.ru

**Институт физики металлов УрО РАН, 620041, Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 18*

***Институт электрофизики УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106*

Изучена сорбция шестивалентного хрома наноразмерным магнетитом, полученным тремя разными методами. Показано, что магнетит является эффективным сорбентом для удаления шестивалентного хрома из загрязненных природных и сточных вод. Обнаружено, что даже небольшое повышение температуры раствора при проведении процесса сорбции резко увеличивает его эффективность.

Очистка природных и сточных вод от шестивалентного хрома представляет собой чрезвычайно важную задачу в виду его высокой токсичности. Одним из перспективных способов удаления Cr(VI) из растворов является сорбционный метод. Главное достоинство сорбционного метода очистки заключается в том, что он практически не вносит в очищаемый раствор новых, посторонних, ионов и веществ. Это позволяет использовать его для регенерации ряда технологических растворов (например, в гальванике), а также для очистки загрязненных природных вод для последующего использования в коммунальном хозяйстве.

Сорбционная емкость сорбентов в значительной степени определяется их удельной поверхностью, которая возрастает при уменьшении размера частиц сорбента. Однако при этом, соответственно, усложняются процессы отделения сорбента от раствора традиционными методами отстаивания и фильтрования. Поэтому важной задачей является получение сорбентов, которые: (1) обладают хорошими сорбционными свойствами и (2) легко отделяются от раствора. Эта задача может быть решена, если в качестве сорбента использовать порошок из малых ферромагнитных частиц, которые после сорбции загрязнителей могут быть отделены от раствора под действием градиентного магнитного поля. Одним из примеров ферромагнитного сорбента является магнетит Fe₃O₄.

В данной работе изучен процесс сорбции шестивалентного хрома