

Технология заращивания металлом сквозных отверстий в керамических микрополосковых платах с помощью электрохимического осаждения

А.А. Удалов, Д.В. Бабошко, Е.В. Шестериков

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

634055, Томск, Россия, пл. Академика Зуева, 1, udalov@iao.ru, baboshkodv@iao.ru, evsh@iao.ru

В настоящее время на рынке микроэлектроники существует потребность в производстве компонентов необходимых для изготовления гибридно-монокристаллических интегральных схем СВЧ на основе 3D интеграции, перспективных систем радиолокации для СВЧ-аппаратуры, оптоэлектронных устройств, радиоэлектронного противодействия, идентификации, связи и управления. В данной работе представлена технология заполнения медью/золотом сквозных переходных отверстий микрополосковых плат (МП), выполненных из диэлектрических материалов. Разработанная технология позволит качественно изменить подход к разработке топологии МП, так как в них появится новый элемент — сквозное заполненное медью/золотом отверстие, которое позволит работать платам на большей мощности, уменьшить количество переходных отверстий, обходиться без торцевой металлизации, что будет способствовать упрощению процесса изготовления микрополосковых плат.

Ключевые слова: сквозные заполненные металлизированные отверстия, гибридные интегральные схемы, электрохимическое осаждение, микрополосковые платы, фоторезистивная маска; electrochemical deposition, integral scheme, metal filled through-hole vias, microstrip boards, photoresist mask.

Введение

С развитием электронной промышленности и усложнением мировой ситуации требования к качеству МП в России становятся строже [1]. Конструкция усложняется, а класс точности повышается в соответствии с ГОСТ 53.429-2009 [2]. Это приводит к уменьшению ширины дорожек, расстояний между проводниками и диаметров отверстий, а также к увеличению соотношения толщины платы к диаметру отверстия. Эта тенденция прослеживается и в зарубежных стандартах, например в международных IPC-2221A [3] и IPC-2222 [4]. В результате становится сложнее обеспечивать металлизацию отверстий с низким переходным сопротивлением между лицевой и обратной стороной ($< 0,05$ Ом), отсутствие непокрытых участков и отслоения металлизации внутри отверстий.

Все современные методы металлизации сквозных отверстий имеют свои недостатки, что сказывается на характеристиках и стоимости готовых изделий. Предложенная в данной работе технология заращивания подразумевает полное заращивание сквозных отверстий металлом, что не только улучшает электрический контакт между сторонами МП, но и способствует уменьшению влияния паразитных емкостей и индуктивностей. В результате применения данной технологии значительно повышается надежность и долговечность электронных устройств, что особенно важно в условиях высоких эксплуатационных требований.

Еще одно достоинство предлагаемой технологии — уменьшение количества технологических операций, необходимых для создания контакта между лицевой и обратной стороной. В настоящее время связь между лицевой и обратной стороной МП плат осуществляется с помощью торцевой металлизации [5], что является важным аспектом в области микроэлектроники. Эта технология включает использование проводящих металлических слоев, расположенных на боковой торцевой поверхности МП платы, что обеспечивает необходимую проводимость и механическую прочность. Тем не менее, процесс создания торцевой металлизации требует выполнения множества сложных технологических операций. В условиях стремительного развития электронных компонентов и повышенных требований к их мощности и надежности необходимость в эффективных решениях для соединения слоев становится особенно важной. Данный метод обеспечивает надежные электрические соединения, позволяя создавать многослойные платы с улучшенными эксплуатационными характеристиками и уменьшенными размерами.

Существующие методы металлизации и заполнения отверстий плат

В настоящее время существует несколько методов создания сквозных отверстий МП с проводящим покрытием.

Первый способ — соединение лицевой и обратной сторон с помощью медных втулок, которые запрессовываются в отверстия. Этот метод обеспечивает контакт между лицевой и обратной сторонами платы, однако чаще всего используется в производстве печатных плат, так как тепловое расширение металлических гильз может приводить к трещинам в керамике и разрушению МП. Также этот метод требует подбора размера втулки под размер отверстия, для чего необходимо создавать отдельный цех по производству втулок разных

размеров, что влечет за собой дополнительные затраты. Кроме того, оборудование для запрессовки втулок также требует значительных вложений.

Второй способ — соединение лицевой и обратной сторон МП путем двустороннего магнетронного напыления металла на пластину. Параметры процесса подбираются таким образом, чтобы происходило сквозное напыление отверстий, затем на МП с помощью фотолитографии формируется проводящий рисунок. При необходимости также возможно увеличение толщины металлизации (до 40 мкм) в отверстиях за счет электрохимического меднения. Этот метод также обеспечивает контакт между лицевой и обратной сторонами МП, но имеет ограничения по толщине керамики до 2 мм [6].

Третий способ — заполнение сквозных переходных отверстий химически активной пастой для металлизации [7]. В состав пасты входят соединения меди (например, сульфат и хлорид меди), активатор (например, хлориды олова и палладия), формалин в качестве восстановителя и различные добавки для улучшения качества покрытия. После образования тонкого слоя меди на стенках отверстия паста вымывается, и дальнейшее наращивание толщины происходит другими методами, например, электрохимическим. Недостатком этого метода является необходимость использования дополнительного оборудования (ЧПУ) для качественного нанесения пасты, а также использование опасных реактивов, таких как хлорид палладия и формалин.

Предлагаемая технология заращивания сквозных отверстий

В первую очередь в керамике прошиваются отверстия любого необходимого диаметра. Технология не имеет ограничений по типу керамического материала (оксид алюминия, нитрид алюминия, кремний и др.) и толщине подложки. Также отсутствует ограничение по методу формирования отверстий (сверление, лазерная абляция и др.). После формирования отверстий лицевая и обратная стороны керамики очищаются от следов нагара.

Далее перед металлизацией керамики проводится химическая обработка, которая включает в себя очистку керамики от загрязнений с использованием неорганических и органических растворов.

Следующим этапом является металлизация керамики посредством магнетронного напыления. В первую очередь подложки покрываются металлом, имеющим адгезию к керамике (например, тантал (Ta) или хром (Cr)), который также впоследствии сможет выполнять функцию резистивного слоя, затем наносится проводниковый слой меди (Cu).

После этого с помощью пленочного фоторезиста создается фоторезистивная маска с обеих сторон подложки, при этом отверстия остаются свободными от фоторезиста. Далее подложка погружается в гальваническую ванну, в которой обеспечена циркуляция электролита с помощью перистальтического насоса. В этой системе подложка является катодом, и благодаря протоку электролита через отверстия, будет происходить постоянное обновление концентрации ионов меди внутри отверстия, поэтому осаждение будет происходить равномерно во всех участках отверстия до полного зарастания отверстия.

Методика эксперимента

В качестве керамики использовались подложки 60 × 48 мм из алюмооксидной керамики ВК100. Прошивку отверстий осуществляли методом лазерной абляции на длине волны 1,06 мкм при следующих параметрах: мощность излучения — 50 Вт, частота — 75 кГц, скорость сканирования луча — 50 мм/с, коэффициент заполнения — 80%. После прошивки отверстий и удаления нагара подложки кипятились в 10% растворе гидроксида натрия (NaOH) в течение 10 мин с целью удаления пыли и следов нитрида алюминия внутри отверстий. Затем керамика промывалась деионизованной водой и сушилась в потоке газообразного азота, после чего она выдерживалась в хромовой смеси (3% раствор дихромата калия в серной кислоте) при температуре 60° в ультразвуковой ванне в течение 10 мин. После этого подложки промывались в деионизованной воде и затем обрабатывались в парах изопропилового спирта в течение 5 мин. Следующим этапом проводилось магнетронное напыление покрытия Ta (100 Ом)/Cu (4 мкм) в режиме, указанном в таблице.

Параметры магнетронного напыления на подложки ВК100.

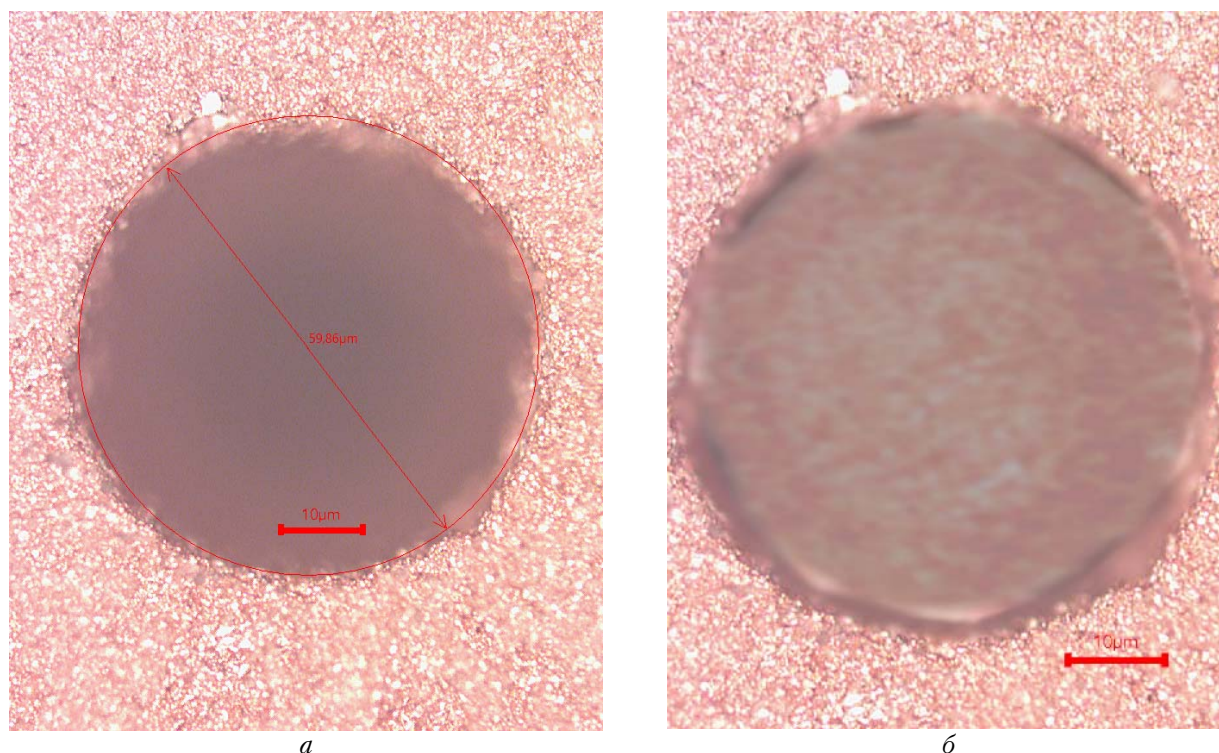
Параметр	Тантал	Медь
Температура, град.	200	150
Удельная мощность, Вт/мм ²	0,01	0,07
Давление рабочего газа аргона, Па	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
Время, мин	15	100

Далее подложки погружали в сернокислый электролит меднения [8] и осаждали с плотностью тока 1 А/дм² в течение 30 мин.

Результаты

На рисунке приведены предварительные результаты электрохимического заращивания отверстий с использованием перистальтического насоса. Рис., а показывает отверстие после магнетронного напыления, на рис., б представлено это же отверстие после электрохимического осаждения меди внутри отверстий. Наблю-

дали, что отверстие диаметром 60,59 мкм заполнилось медью без наростов на подложке. Соответственно скорость роста металла внутри отверстие полностью заросло медью в течение 85 мин, при этом средняя скорость роста составила 0,7 мкм/мин.



Результаты электрохимического зарощивания отверстий

Заключение

В работе предложена технология зарощивания отверстий в МП с помощью магнетронного напыления и электрохимического осаждения. Уникальность технологии заключается в обеспечении потока электролита через отверстия с помощью перистальтического насоса, что будет способствовать более равномерному и быстрому зарощиванию отверстий благодаря поддержанию концентрации ионов меди Cu(II) во время осаждения. Также применение данной методики не приводит к образованию наростов на верхней части отверстия без заполнения самих отверстий.

Основными отличиями предлагаемой технологии от ранее описанных методов металлизации отверстий являются: уменьшение технологических операций, необходимых для получения надежного контакта между лицевой и задней стороной МП, лучший теплоотвод от нагреваемых рабочих элементов МП, и как следствие более высокий КПД работы платы. При этом отпадает необходимость в использовании дополнительных дорогостоящих ЧПУ для запрессовки гильз или для нанесения пасты с целью химической металлизации. Предлагаемый способ легко интегрируем в существующие технологии изготовления МП.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.

Список литературы

1. *Закирова Э.А.* Исследование печатных плат с многослойными диэлектрическими подложками и разработка СВЧ-устройств на их основе: дис. канд. тех. наук 05.12.07 / Закирова Э.А. М., 2014. 178 с.
2. *ГОСТ 53.429-2009.* Платы печатные. Основные параметры конструкции: введ. впервые: дата введения 2010-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2010. 11 с. Текст: непосредственный.
3. *IPC-2221A: Generic standard on printed board design/ Association connecting electronics industries and IPC/ May 2003.* 124.
4. *IPC-2222: Sectional design standard for rigid organic printed boards/ Association connecting electronics industries and IPC/ Feb 1998.* 38.
5. *Печатные платы: Справочник* / Под редакцией К.Ф. Кумбза В 2-х книгах. Книга 1. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. 1016 с. ISBN 978-5-94836-258-8.
6. *Заявка на патент № RU2806812.* Способ изготовления микрополосковых плат СВЧ-диапазона с переходными металлизированными отверстиями на основе микроволновых диэлектрических подложек: № 2023101563: заявл. 25.01.2023: опубл. 07.11.2023 / М.К. Сучков; заявитель, патентобладатель Акционерное общество "Научно-

- исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры "Прогресс" (АО "НИИМА "Прогресс") // ФИПС: [сайт]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2806812C1/ru> (дата обращения: 06.06.2025).
7. *Patent* CN101137768. Copper surface treatment method and copper: № 101137768; pub.2011.09.21 /Tomoaki Yamashita, Yasuo Inoue, Masaharu Matsuu, Toyoki Ito, Akira Shimizu, Fumio Inoue, Akashi Nakazu: URL: [https://patents.google.com/patent/CN101137768B/en?q=\(vias+chemical+coppering\)&oq=vias+chemical+coppering](https://patents.google.com/patent/CN101137768B/en?q=(vias+chemical+coppering)&oq=vias+chemical+coppering).
 8. *ГОСТ 9.305-84*. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические: введ. впервые: дата введения 1986-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2003. 107 с. Текст: непосредственный.

Udalov A.A., Baboshko D.V., Shesterikov E.V. Through-holes vias ceramic microstrip board metal filling by electrochemical deposition.

The world microelectronics market needs components for manufacturing microwave hybrid-monolithic integrated circuits based on 3D integration, advanced radar systems for microwave equipment, optoelectronic devices, electronic countermeasures, identification. This paper describes the developed technology for copper/gold filling through vias of dielectric microstrip boards. The developed technology will allow a qualitative change in the approach to developing the topology of microstrip boards, since they will have a new element – a through hole filled with copper/gold, which: will allow the boards to operate at higher power, will reduce the number of vias, will allow to do without end metallization, which will greatly simplify the process of board manufacturing. The project results consumers are power microelectronics enterprises, for whose products it is important to withstand high voltages of up to several kilovolts and huge currents of hundreds of amperes.