

В. М. АНДРЕЕВ, С. Г. БАЕВ, В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ,
Л. А. ПАВЛЮХИНА, Т. А. ЧУПРИКОВА

(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ

Стандартная технология изготовления печатных плат для устройств радиоэлектроники многостадийна, включает в себя процесс получения изображения проводников на промежуточном фотошаблоне, несколько этапов обработки фотошаблонов и фольгированных диэлектрических пластин в химических растворах кислотно-щелочного травления и электрохимической металлизации.

Очевидны недостатки процесса — снижение точности воспроизведения изображения проводников на этапе копирования; проблема утилизации экологически вредных отходов производства; низкая оперативность получения конечного изделия, что особенно важно в случае изготовления плат высокого класса сложности малым тиражом для опытных и уникальных образцов изделий радиоэлектроники.

Перечисленных недостатков в значительной мере лишены способы прямого формирования проводников на поверхности диэлектрических подложек, основанные как на экспонировании фоторезистов, нанесенных на металлизированные подложки, так и на селективной активации поверхности подложек и последующей металлизации активированных участков [1, 2].

Для исследования и разработки процесса изготовления топологии металлических проводников на диэлектрических подложках — лавсане, стеклопластике, полиимиде, фторопласте и т. д. — на стадии активации поверхности перед химическим меднением нами использован метод тепловой лазерной обработки подложек, основанный на явлении локального лазерного термолитического разложения комплексной соли гипофосфита меди $\text{Cu}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ или его аминокислотных комплексов [3].

При интенсивности лазерного излучения $\sim 0,1$ МВт/см² за время ~ 10 мкс происходит локальный нагрев подложки и терморазложение нанесенного слоя гипофосфита меди до образования мелкодисперсных, каталитически активных в растворах химической металлизации частиц меди.

Процесс изготовления топологии металлических проводников печатной платы состоит из этапов подготовки подложек, чувствления подложек аммиачным раствором гипофосфита меди, записи рисунка топологии проводников на лазерном растровом генераторе изображений [4] и наращивания медных проводников необходимой толщины в растворах медной химической металлизации.

Подготовка подложек проводилась различными методами: гидроабразивной обработкой и (или) химическим травлением. Подложки чувствлялись способом погружения в кювету с раствором соли меди, поливом или распылением с последующей сушкой при комнатной температуре. Наиболее тонкая и однородная пленка гипофосфита меди получается при погружении в кювету с раствором.

Источником экспонирующего излучения в лазерном генераторе изображений является CO_2 -лазер с длиной волны 10,6 мкм. Ранее в [5] путем сравнительного анализа спектров пропускания комплексных соединений гипофосфита меди и образцов некоторых подложек были сделаны выводы о том, что энергетические характеристики процесса лазер-

ного термолиза определяются в основном поглощением излучения в подложке. Вклад поликристаллической пленки гипофосфита меди толщиной порядка 1 мкм в поглощение оценивался величиной $\approx 10\%$. Нами проведены прямые измерения спектров пропускания образцов диэлектрических подложек до и после сенсibilизации в растворе гипофосфита меди. Типичный результат измерений — рис. 1, на котором представлены спектры пропускания полиимидной пленки толщиной 50 мкм до (кривая 1) и после (кривая 2) сенсibilизации, полученные на спектрофотометре ИКС-29. Очувствление образца производилось однократным погружением в раствор соли. Из спектра пропускания очувствленного образца видно, что произошло заметное уменьшение пропускания в области интенсивных полос поглощения гипофосфит-иона ($1050, 1090 \text{ см}^{-1}$), а на длине волны источника экспонирующего излучения — CO_2 -лазера (943 см^{-1}) — пропускание образца практически не изменилось. Это свидетельствует о том, что толщина пленки гипофосфита меди, получающейся на поверхности подложки в результате сенсibilизации способом погружения в раствор, меньше 1 мкм либо действительное значение коэффициента поглощения соединения несколько меньше оценки, используемой в [5].

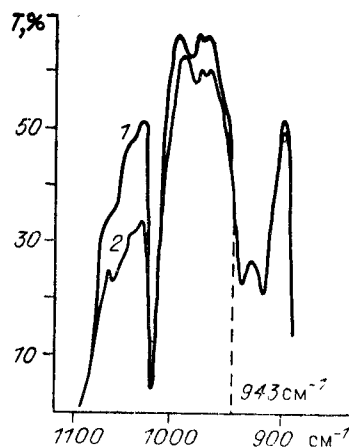


Рис. 1

Увеличение толщины поликристаллической пленки гипофосфита меди ведет к росту чувствительности процесса записи вследствие увеличения доли энергии, поглощаемой в процессе записи в самой пленке. Однако одновременно это увеличение ведет к снижению разрешающей способности записи и уменьшению адгезионной прочности металлического изображения, получаемого в процессе химической металлизации. Причина этого, по нашему мнению, — в образовании на поверхности подложки рыхлой структуры продуктов реакции терморазложения, слабо химически и механически связанной с поверхностью. Это приводит к низкой адгезии металлического слоя. В случае тонкой сенсibilизирующей пленки медные каталитические центры образуются непосредственно на поверхности диэлектрической подложки и даже частично оказываются вплавленными в нее в результате нагрева интенсивным лазерным излучением. Результаты исследования адгезионной прочности полученных металлических проводников показывают, что максимальное ее значение достигается в случае исходных образцов, очувствленных методом однократного погружения в раствор, с минимальной толщиной пленки гипофосфита меди. В зависимости от материала подложки чувствительность записи на таких образцах в наших экспериментах менялась в диапазоне $0,3-0,5 \text{ Дж/см}^2$.

В процессе записи вследствие локального термолиза соли на поверхности подложек получается изображение, образованное слоем мелкодисперсной меди коричневого цвета, что позволяет сразу же после записи проконтролировать результат. На рис. 2 представлен фрагмент тестового изображения на подложке из стеклотекстолита после записи на лазерном генераторе изображений. Изображение представляет собой двумерную решетку с периодом $0,64 \text{ мм}$, записанную на лазерном генераторе изображений при значении раstra $0,04 \text{ мм}$. Точечная структура изображения иллюстрирует растровый способ его формирования и позволяет оценить разрешающую способность записи. Расстояние между соседними точками в изображении равно 40 мкм . В случае записи топологии проводников печатной платы экспозиция на точку увеличивается до такой величины, при которой диаметр записываемой точки становится больше величины раstra, что и приводит к формированию сплошной

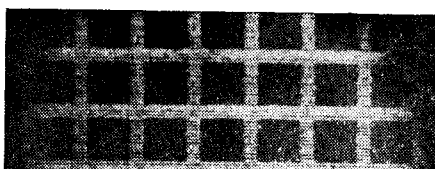


Рис. 2

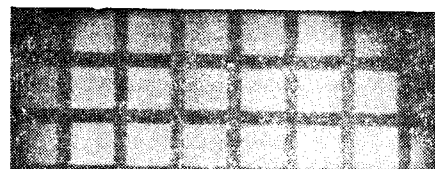


Рис. 3

структуры проводника печатной платы. На рис. 3 показан тот же фрагмент тестовой записи, но уже после наращивания на изображении слоя меди до толщины 5 мкм в растворе химического меднения. На рис. 2 и 3 видно, что снижения разрешающей способности формирования изображения при металлизации до такой толщины не происходит.

Электронно-микроскопические фотографии образцов подложек и фрагментов полученных проводников показывают, что тонкая структура металлических проводников определяется в первую очередь микрошероховатостью поверхности подложек, имеющей характерный масштаб 1—2 мкм. На рис. 4 показана поверхность стеклотекстолита после записи тестового изображения, на рис. 5 — поверхность проводника, полученного после металлизации записанного на лазерном генераторе изображения. Видно, что характерный масштаб структуры металлического проводника соответствует микрошероховатости поверхности исходного образца подложки. На рис. 4 виден также результат воздействия лазерного излучения на подложку в процессе записи — изменение микрошероховатости поверхности в результате ее нагрева до температуры плавления.

Следует отметить, что при лазерном термоллизе достигается более высокая степень дисперсности медных частиц и однородное распределение их на поверхности диэлектрика по сравнению с обычной термообработкой, что также подтверждается данными электронной микроскопии.

Реальная разрешающая способность формирования изображения на диэлектрических подложках определяется в условиях наших экспериментов параметрами системы сканирования и фокусировки лазерного генератора изображений — шагом дискретизации 20 мкм и размером пятна 50 мкм. На этапе толстослойной металлизации в процессе наращивания токопроводящих слоев до толщины 35—50 мкм неизбежно происходит снижение разрешающей способности.

В конечном счете характеристики записи генератора изображений и ограничения, накладываемые процессом металлизации, позволили достигнуть разрешающей способности формирования топологии медных проводников не менее 10 лин/мм, т. е. получить образцы печатных

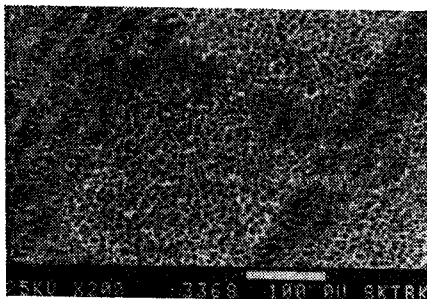


Рис. 4

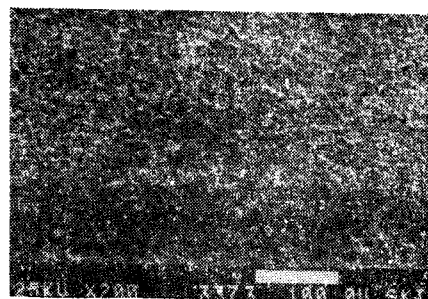


Рис. 5

плат с шириной проводников и зазорами между ними 50 мкм. На рис. 6 приведен фрагмент печатной платы, полученной новым способом.

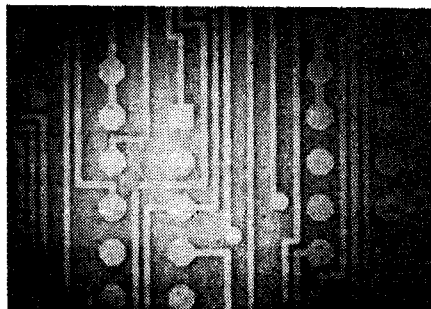


Рис. 6

Ранее, в [5], отмечалось, что управлять чувствительностью регистрирующих материалов на основе гипофосфита меди можно введением в состав материала подложек адсорберов — материалов с высоким коэффициентом поглощения на длине волны CO₂-лазера. Было показано, что при использовании в качестве адсорберов некоторых алюмосиликатов, например каолина, чувствительность записи значительно увеличивается. Это позволяет утверждать, что чувствительность записи топологии формируемых изображений на стадии активации поверхности диэлектрика также возрастет при использовании для изготовления подложек перспективных композитных материалов — алюмосиликатных керамик и пористых высококремнеземных стекол [6]. Это произойдет по двум причинам. Во-первых, эти материалы отличаются большим поглощением на длине волны CO₂-лазера. Во-вторых, введение в пористую матрицу композитных материалов гипофосфита меди еще более увеличит поглощение и, следовательно, чувствительность процесса записи. Очевидно, что увеличится и адгезия вследствие вращающегося изображения в пористую подложку.

Таким образом, на основе использования способа тепловой лазерной записи, в котором происходит термохимическое разложение соединений меди, и методов лазерного растрового синтеза изображений показана возможность аддитивного формирования толстослойных металлических покрытий произвольной топологии на органических диэлектрических подложках. Характеристики адгезионной прочности покрытий, их электропроводность и минимальный масштаб позволяют изготавливать топологию проводников, соответствующую требованиям к печатным платам высокой группы сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deutsch T. F., Geis M. W. Self-developing UV photoresist using excimer laser exposure // J. Appl. Phys.— 1983.— 54, N 12.— P. 7201.
2. Pat. 4496607 USA. Laser process for producing electrically conductive surfaces on insulators/M. Eckart.— Publ. 29.01.85.
3. Баев С. Г., Бессемельцев В. П., Ломовский О. И., Лушников А. Я. Оптическая регистрация информации на слоях термочувствительных солей меди // Квантовая электрон.— 1984.— 11, № 2.
4. Баев С. Г., Бессемельцев В. П., Гриценко Д. А. и др. Лазерные устройства вывода изображений // Тез. докл. 5 Всесоюз. конф. «Оптика лазеров».— Л.: ГОИ, 1986.
5. Баев С. Г., Бессемельцев В. П., Болдырев В. В. и др. Исследование чувствительности термографических материалов на основе гипофосфита меди в процессе тепловой лазерной записи информации // Автометрия.— 1986.— № 2.
6. Meshkovskij I. K. Porous optical elements // OPTICS'89. Fourth National Conference on Optics and Laser Engineering.— Bulgaria, Varna: Bulgarian Academy of Sciences, 1989.

Поступило в редакцию 24 августа 1989 г.