

К. т. н. Э. А. САХНО, к. х. н. М. А. БАЛАШОВ,
к. т. н. В. В. ЖИЛИКОВ, Д. В. ЛОБАСОВ

УДК 621.793.16

Россия, г. Москва, ЦНИТИ «Техномаш»
E-mail: mail@technomash.ru

Дата поступления в редакцию
31.03 2011 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Показана целесообразность применения технологии тонких пленок на начальных этапах изготовления теплонагруженных печатных плат со встроенными резисторами в переходных отверстиях.

Широкое распространение изделий радиоэлектроники, где имеют место повышенные локальные или распределенные по всей площади тепловые нагрузки [1], а также рост степени интеграции гибридных интегральных схем, вызывающий обострение проблемы теплоотвода [2], ставит задачу улучшения теплоотдачи печатных плат. Эта проблема чаще всего встречается в светодиодной технике, силовой и автомобильной электронике, источниках питания.

Традиционное решение проблемы, описанное в [1], требует применения специальных теплопроводящих составов, которые наносят на металлическое основание или ядро печатной платы. Они обладают более высокой теплопроводностью (1—5 Вт/(м·К)), чем стеклотекстолит (0,3 Вт/(м·К)). Решение, предложенное в [2], основанное на формировании анодных оксидных пленок на алюминиевых сплавах, более технологично. Однако образующиеся слои оксидных пленок алюминия, обладая высокими диэлектрическими характеристиками, имеют, к сожалению, невысокую теплопроводность (31,5 Вт/(м·К)).

Известна технология изготовления печатной платы с теплоотводом, при которой на основание печатной платы, выполненное из алюминиевой пластины, осаждают изоляционный слой из оксинитрида алюминия и токопроводящий слой, наносят фотомаску, гальванически увеличивают толщину токопроводящего слоя, удаляют фотомаску и дифференциальным травлением формируют проводящий рисунок [3]. Однако нет никаких сведений о возможности получения печатных плат с металлизированными отверстиями и о возможности получения встроенных резисторов при такой технологии.

Разработан также способ изготовления печатных плат со встроенными резисторами, при котором в печатных платах, выполненных из материала FR4-ML, формируют отверстия, которые заполняют резистивной пастой, причем эта паста образует контакт с проводящими слоями печатной платы [4]. Недостаток способа — в плохой теплопроводности материала

FR4-ML и перегреве резисторов, находящихся в замкнутом объеме.

Авторами была поставлена задача создания технологии изготовления печатных плат со встроенными резисторами, которая позволила бы увеличить мощность теплового рассеяния резисторов, а также улучшить отвод тепла от элементов, монтируемых на печатной плате, при уменьшении ее габаритных размеров.

Для решения задачи были использованы результаты исследований и работ по технологии получения наноструктурированных материалов в виде тонких пленок [5, 6]. К таким материалам относится нитрид алюминия, который привлекает внимание разработчиков и технологов в области создания микроэлектронной аппаратуры благодаря сочетанию таких свойств, как большое удельное сопротивление ($R_s = 10^{14}$ Ом·см [7]), высокая теплопроводность ($\lambda = 319$ Вт/(м·К) [8]) и радиационная стойкость.

Наибольшее применение пленки нитрида алюминия получили в настоящее время в качестве защитных, изолирующих и буферных слоев в гибридных и полупроводниковых интегральных микросхемах. Многослойные теплоотводящие подложки, состоящие из диэлектрических слоев нитрида алюминия, нанесенных на металлическую основу, в широком диапазоне температур по эффективности теплоотвода превосходят подложки со слоями оксида бериллия [6]. Поэтому в настоящей работе было использовано металлическое основание с изоляционным слоем из нитрида алюминия. Встроенные резисторы были размещены в отверстиях, на стенки которых был также нанесен слой нитрида алюминия, а токопроводящий слой осаждался на торцы встроенных резисторов [9].

Предлагаемую комплексную технологию можно разделить на два этапа. На первом этапе применяют тонкопленочную технологию с частичным использованием толстопленочной технологии при формировании резисторов в отверстиях (рис. 1).

Из листов металла с высокой теплопроводностью, например сплава алюминия марки Д16АТ или меди марки М1, на операции I нарезают заготовки I нужного размера. В соответствии с чертежом платы на операции II в заготовках сверлят монтажные отверстия 2 и отверстия 3 под встроенные резисторы. Затем на операции III на поверхность заготовки с просверленными отверстиями осаждается слой нитрида

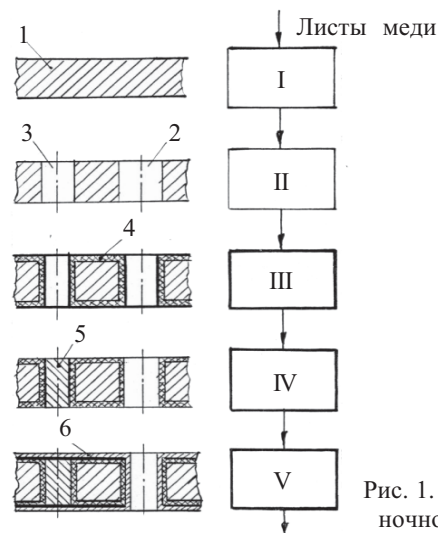


Рис. 1. Этап тонкопленочной технологии

алюминия 4 толщиной 5—8 мкм методом реактивного ВЧ-магнетронного распыления на установке вакуумного напыления УРМ3.297.014.

Поскольку слой нитрида алюминия обладает высокими диэлектрическими свойствами и высокой теплопроводностью, это позволяет эффективно отводить тепло от резистора в металлическое основание.

Отверстие 3, стенки которого покрыты слоем нитрида алюминия, заполняют низкотемпературной резистивной пастой 5. Формируется резистор, сопротивление которого, согласно [4], вычисляется по формуле

$$R = 4H\rho/(\pi D^2),$$

где H — толщина металлического основания;

ρ — удельное сопротивление резистивной пасты;

D — диаметр отверстия.

Подбором толщины металлического основания, диаметра отверстия и удельного сопротивления резистивной пасты можно в широких пределах изменять значение сопротивления.

Уровень теплоотдачи резистора, сформированного в отверстиях основания из стеклотекстолита марки FR-4, как описано в [4], будет очень низким, т. к. коэффициент теплопередачи стеклотекстолита FR-4 составляет 0,3 Вт/(м·К) [1]. В то же время у нитрида алюминия он равен 319, у меди — 384, а у алюминия — 209 Вт/(м·К) [10, с. 469]. Поэтому резисторы, выполненные в отверстиях основания из металла, могут рассеивать большую мощность, создавая высокую теплонагруженность печатной платы.

Для последующего формирования токопроводящего рисунка на поверхность печатной платы, на стенки монтажных отверстий 2 и на торцы резистора 5 осаждают пленку меди 6 на установке вакуумного напыления. Медь на торцах резисторов обеспечивает надежный контакт резистора и проводящего рисунка схемы. Толщина пленки составляет 3—5 мкм. Увеличение толщины токопроводящего слоя происходит за счет гальванического наращивания, выполняемого на втором этапе.

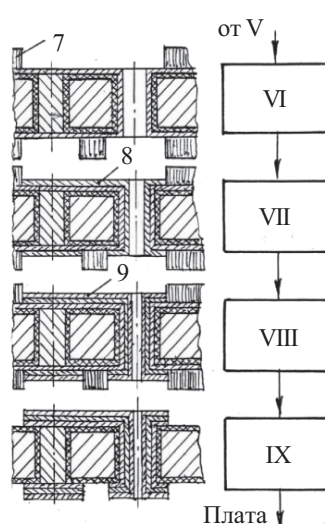


Рис. 2. Первый вариант традиционной технологии изготовления печатных плат

Второй этап, характерный для традиционной технологии изготовления печатных плат, может быть реализован в двух вариантах.

Первый вариант (см. рис. 2) предполагает следующее: на операции VI с помощью фоторезиста 7 наносят защитный рисунок. Производят гальваническое наращивание токопроводящего слоя 8 на операции VII до требуемой толщины (25—30 мкм). Наносят защитный слой металлогрессиста 9 на операции VIII. Удаляют защитный рисунок 7 и производят травление токопроводящего слоя с пробельных мест на операции IX.

По второму варианту второго этапа технологии (см. рис. 3) на операции X производят гальваническое наращивание токопроводящего слоя 8 до требуемой толщины (25—30 мкм) по всей поверхности платы и в монтажных и переходных отверстиях. На операции XI наносят защитный рисунок на токопроводящий слой в местах проводников и монтажных и переходных отверстий. Вытравливают токопроводящий слой с пробельных мест и удаляют защитный рисунок на операции XII. Наносят защитную маску 10 под пайку на операции XIII. На контактные площадки наносят финишное покрытие 11 на операции XIV.

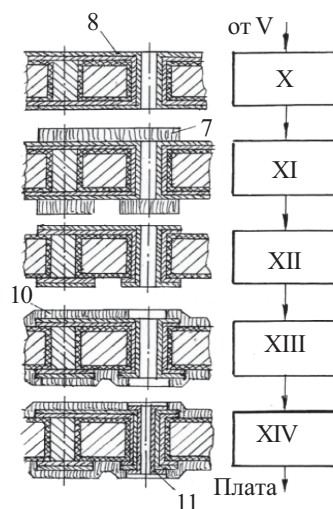


Рис. 3. Второй вариант традиционной технологии изготовления печатных плат

Пробную партию плат изготовили на базовом (типовом) технологическом оборудовании для производства двусторонних печатных плат. Кроме того, были использованы две установки вакуумного напыления УРМЗ.297.014 для реализации операций III и V и установка дозированной подачи резистивной пасты для операции IV.

Для эксперимента была выбрана плата с основанием из меди толщиной 2,0 мм с монтажными отверстиями диаметром 0,8 мм и отверстиями под резисторы диаметром 0,4 мм. Класс точности печатных плат соответствовал 3 и 4 классу, размер плат не превышал 130×130 мм.

После загрузки платы в установку напыления производили осаждение слоя нитрида алюминия толщиной 5—8 мкм на всю поверхность платы и стенки отверстия. Толщину измеряли в процессе напыления частотным методом.

Заполнение отверстий резистивной пастой производили на установке «ТРАССА-4304». Требуемый диапазон сопротивлений резисторов обеспечивался необходимым диаметром отверстия и значением удельного сопротивления резистивной пасты. Так, при диаметре отверстия 0,4 мм и удельном сопротивлении резистивной пасты 25 Ом·мм, значение сопротивления резистора будет составлять

$$R = 4H\rho/(\pi D^2) = 4 \cdot 2 \cdot 25 / (3,14 \cdot 0,4^2) \approx 400 \text{ Ом.}$$

Нанесение токопроводящего медного слоя толщиной 3—5 мкм производили на той же установке вакуумного напыления, а контроль толщины осуществляли также в процессе напыления частотным методом. Далее платы обрабатывали по второму варианту технологии до получения готовых изделий.

Проведенные эксперименты по изготовлению печатных плат по новой технологии показали необходимость ее дальнейшей отработки и совершенствования. Предлагаемая технология, по мнению специалистов, за счет использования в качестве диэлектрика материала с рекордной теплопроводностью позволяет в полной мере реализовать преимущества печатных плат с металлическим основанием:

— повысить теплонагруженность платы в 3—4 раза;

— разместить встроенные резисторы в отверстиях платы, не ухудшая условия отведения рассеиваемой мощности;

— в 3—4 раза сократить площадь, занимаемую резисторами;

— уменьшить отклонение сопротивления от номинального значения с 30 до 5—10% и исключить необходимость лазерной подгонки за счет более точного изготовления встроенных резисторов;

— снизить общую трудоемкость сборочно-монтажных работ не менее чем на 10—15%.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Лысов В., Кочергин В. Печатные платы с металлическим основанием // Печатный монтаж.— 2007.— № 3.— С. 23. [Lysov V. // Pechatnyi montazh. 2007. N 3. P. 23]
2. Косташ А. П., Голуб А. А. Изготовление теплопроводных печатных плат на алюминиевых подложках // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 1992.— № 4.— С. 39—41. [Kostash A. P. // Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature. 1992. N 4. P. 39]
3. Offenlegungsschrift DE 19641397 A1. Verfahren zum Herstellen einer warmableitenden Leiterplatte / M. Reiter, L. Wolkers, P. Brikholtz.— 27.09.1996.
4. Offenlegungsschrift DE 10015269 A1. Innenlegende Widerstände in Borungen von Leiterplatte / E. Grasser, H. Katzir.— 28.03.2000.
5. Белянин А. Ф., Буйлов Л. Л., Одинцов М. А. и др. Много-слойные теплоотводящие подложки на основе пленок поликристаллического алмаза и нитрида алюминия // Матер. 6-го Междунар. симпоз. «Тонкие пленки в электронике». Т. 2.— Украина, г. Херсон.— 1995.— С. 168—173. [Belyanin A. F., Builov L. L., Odintsov M. A. et al. // Mater. 6-go Mezhdunar. simpoz. «Tonkie plenki v elektronike». Vol. 2.— Ukraine, Kherson. 1995. P. 168]
6. Сушенцов Н. И. Слоистые структуры на основе нитрида алюминия / Дисс.... канд. техн. наук.— Йошкар-Ола, Марийский государственный технический университет, 1998. [Sushentsov N. I. Diss.... kand. tekhn. nauk.— Ioshkar-Ola, Mariiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. 1998]
7. Добрынин А. В., Казаков Н. П., Найда Г. А. и др. Нитрид алюминия в электронной технике // Zarubezhnaya elektronika.— 1989.— Вып. 4.— С. 44—84. [Dobrynin A. V. // Zarubezhnaya elektronika. 1989. Iss. 4. P. 44]
8. Свойства элементов. Ч. 2. Химические свойства. Справочник / Под ред. Г. В. Самсонова.— М.: Металлургия, 1976. [Spravochnik / Pod red. G. V. Samsonova. Moscow. Metallurgiya. 1976]
9. Пат. 2386225 России. Способ изготовления печатных плат с встроенными резисторами / Э. А. Сахно, М. А. Балашов, В. В. Жиликов, С. И. Парута.— 23. 06. 2008. [Patent 2386225. Russia. 23.06.2008]
10. Кухлинг Х. Справочник по физике / Перевод с нем. под ред. Е. М. Лейкина.— М.: Мир, 1985. [Kuchling H. Moscow. Mir. 1985]