

«Айсберг» опережает!

В силовой электронике продолжают приобретать значимость печатные платы с медным слоем толщиной до 400 мкм. Всякий раз проектировщики силовоточных конструкций стараются найти низкие по себестоимости и многофункциональные альтернативы для реализации, при этом учитываются возможности управления процессом нагрева. Главной областью применения этой технологии, наряду с автомобильной промышленностью, является промышленная электроника, в том числе используемая в системах энергоснабжения и управления энергией. В настоящее время в производстве печатных плат есть альтернативные решения в технологии нанесения толстого слоя меди, тогда как в прошлом использовались прессованные экраны, контактные траверсы или многослойные структуры, состоящие из нескольких внутренних слоев меди толщиной по 70–105 мкм.

**Д-р Удо Бечтлофф
Ральф Фихлер
Йоганнес Шауэр
Д-р Кай Шмидер**

Если присмотреться более пристально к продукции, полученной с помощью технологий, имеющихся на рынке, то можно заметить, что эти решения подходят только для рисунка проводников с одним слоем меди равномерной толщины.

Электронные схемы управления обычно выполняются на отдельной печатной плате и соединяются с силовой частью посредством традиционных соединителей (кабели, вилки). Первоначальная оценка ситуации (рис. 1) раскрывает следующие проблемы производственных технологий.

Для производителей печатных плат:

- дорогостоящий процесс избирательного электроосаждения на рисунок проводников;
- дорогостоящее многоступенчатое нанесение паяльной маски (заполнение, выравнивание, покрытие);
- риск механических повреждений проводников с толстым слоем меди во время обработки.

Для монтажной промышленности:

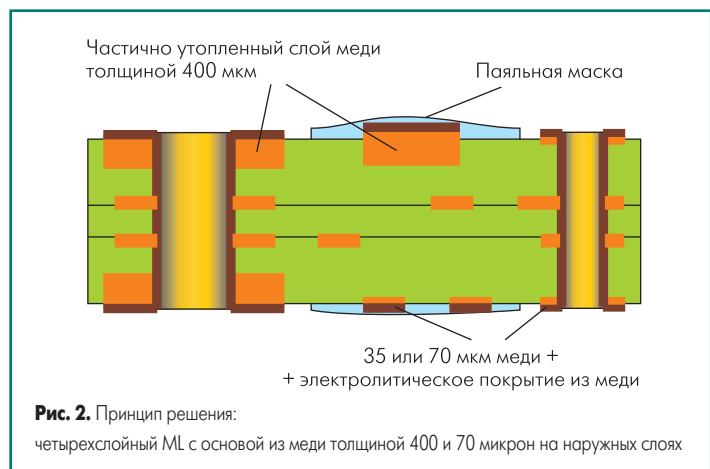
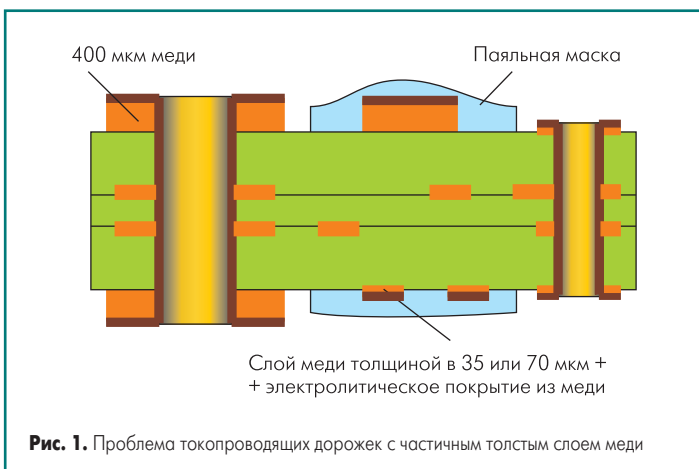
- отдельные конструкции электронных схем управления и силовой электроники;

- разница в высоте проводников примерно 350 мкм;
- расходы на логистику (покупка, складирование) для двух типов ПП;
- двойные расходы на регулирование;
- использование разъемов (кабели, вилки);
- требуется больше места для всей электронной системы.

Необходимо решить все проблемы с учетом следующих технологических условий:

- применение стандартных процессов производства печатных плат;
- использование стандартных материалов из FR4, входящих в перечень Лаборатории по технике безопасности США;
- механические и электрические характеристики, сравнимые со стандартными печатными платами из FR4.

Что же общего у айсберга и технологии толсто- пленочного меднения? Как известно каждому, большая часть айсберга расположена под водой, поэтому он кажется гораздо меньше, чем на самом деле. Этот эффект лежит в основе метода, разрабо-



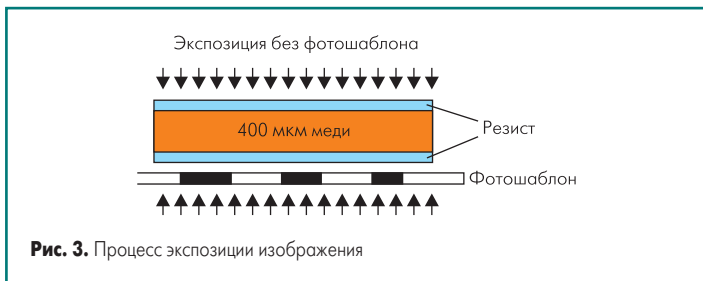


Рис. 3. Процесс экспозиции изображения

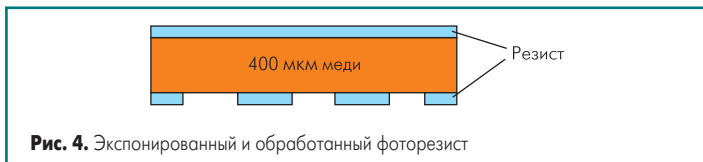


Рис. 4. Экспонированный и обработанный фоторезист

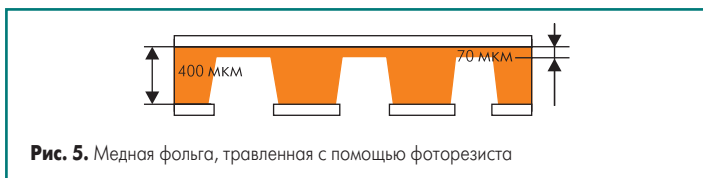


Рис. 5. Медная фольга, травленая с помощью фоторезиста

танного фирмой KSG Leiterplatten GmbH, в котором рисунок медных межсоединений, толщиной 400 мкм, располагается в подложке.

Применяя этот метод, можно получить совершенно плоскую поверхность наружного слоя. Полностью всю область со слоем меди толщиной 400 мкм невозможно увидеть. Вот так и рождается «Айсберг» (рис. 2).

Преимущества изделия

Сочетание электронных схем управления и силовой электроники на одном уровне поверхности, достигнутое с помощью технологии «Айсберг», дает значительные преимущества над обычной технологией толстопленочного меднения как для компаний, использующих ПП, так и для производителей ПП. Необходимо отметить в частности следующие преимущества:

- снижение расходов на закупку, логистику и производство, что дает возможность купить еще одну печатную плату;
- снижение расходов за счет избавления от дополнительных соединений;
- повышение надежности путем минимизации системных интерфейсов;
- такая печатная плата занимает меньше места во всей системе;
- применение стандартной технологии монтажа благодаря равномерной поверхности по всему рисунку межсоединений;
- экономия на процессе получения укрупненности кромок толстых проводников с помощью паяльной маски, за счет минимальной толщины слоя меди на всех силовых проводниках;
- использование теплоотвода, насколько это возможно.

Технология производства



Рис. 6. Медная фольга, травленая с помощью удаленного фоторезиста

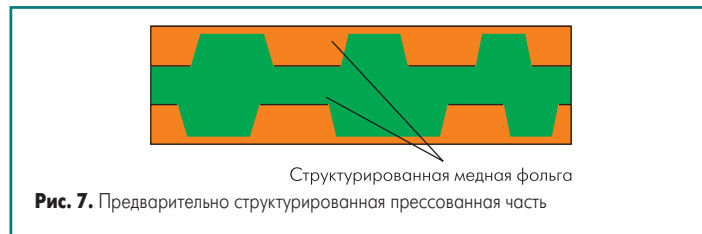


Рис. 7. Предварительно структурированная прессованная часть

Технология «Айсберг» базируется на стандартных процессах производства ПП. Основой для этой технологии служит фольга из электролитической меди толщиной 400 мкм, на начальном этапе ламинированная с обеих сторон фоторезистом.

Для экспозиции на одной стороне используется рисунок межсоединений, который впоследствии приобретет толщину 400 мкм.

Вторая сторона, (которая позже станет наружной стороной), сначала не подвергается обработке, ее поверхность сохраняется плоской.

Следуя технологии, изображенной на рис. 4, медная фольга толщиной 400 мкм выборочно вытравливается до толщины 70 мкм (рис. 5) и фоторезист удаляется.

После того как удален фоторезист (рис. 6) и поверхность меди обработана, предварительно структурированная медная фольга прессуется рельефом рисунка, повернутым к препрегу, так что после прессования получается более плоская поверхность (рис. 7).

Поскольку согласно технологии «Айсберг» всегда необходим процесс прессования, то можно выбрать многослойную конфигурацию схемы, в зависимости от сложности рисунка межсоединений. Можно использовать внутренние слои с толщиной медного покрытия до 400 мкм (рис. 8).

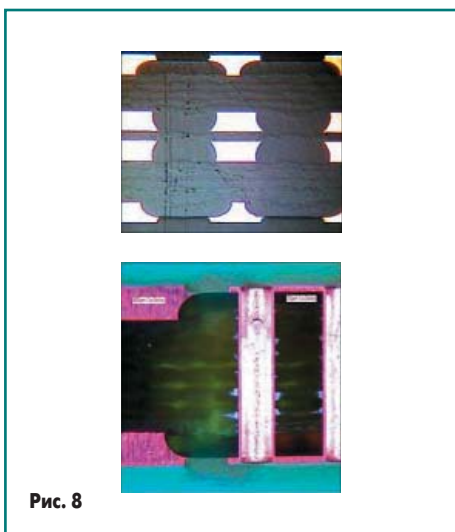


Рис. 8

Используя подходящий препрег, необходимую структуру слоя и подобранные параметры прессования, можно безопасно заполнить смолой сильно профилированные рисунки соединений, полученные путем травления, с толстым слоем меди, избежав включения воздуха или разрыва стеклоткани.

После прессования слоистый пластик можно обрабатывать как любую двухстороннюю печатную плату. Поскольку все остальные области, которые не имеют печатных проводников толщиной 400 мкм, имеют толщину базового слоя меди 70 мкм, то для разводки схемы можно применить правила обычного проектирования.

Материалы

Во время разработки данной технологии были проведены интенсивные испытания подходящих сочетаний материалов: препрега, тонкого слоистого пластика, медной фольги. В результате были определены подходящими только те материалы, которые перечислены Лабораторией по технике безопасности США. Тем не менее остаются нерешенными некоторые проблемы, связанные с материалами. В частности, ранее используемые виды медной фольги ED оказались неподходящими для процесса комплексного травления. С учетом этого вместе с поставкой материалов для ПП от фирмы Gould была разработана медная фольга, модифицированная кристаллическая структура которой позволяет выдерживать ее долгое время в среде травления, не вызывая никаких поверхностных дефектов (точечные проколы).

Характерные особенности

Ко времени написания данной статьи были получены результаты испытаний, представленные в таблице 1. В настоящее время проводятся дальнейшие испытания механических свойств продукции.

Электрические свойства (допустимая нагрузка по току)

В стандарте DIN IEC 326, часть 3, отражена только допустимая нагрузка по току токо-



Таблица 1. Результаты предварительных испытаний механических свойств продукции

Критерии	Результат
Стойкость в ванне с припоём (288 °С, 3×10 с)	Расслоение слоистого материала отсутствует
Скручивание, изгиб	<0,5%
Толщина ПП (вариации толщины на ПП)	±10%
Сопrotивление отслаиванию проводников с толщиной слоя меди 70 мкм	≥0,8 Н/мм
Сопrotивление отслаиванию проводников с толщиной слоя меди 400 мкм	≥1,3 Н/мм

проводящих дорожек с толщиной слоя меди до 105 мкм. Рекомендации по более толстой металлизации отсутствуют. Расчет допустимой нагрузки по току зависит от ряда факторов и должен проводиться отдельно для каждого нового случая применения.

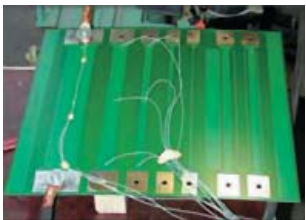


Рис. 9. Микрографическое тестирование двусторонней ПП после прохождения всего процесса

С целью обеспечения проектировщиков некоторыми количественными характеристиками, провели ряд испытаний совместно с Институтом энергоснабжения и Отделением техники высоких напряжений Дрезденского технического университета, чтобы определить температурный режим рисунка соединений с толстым слоем меди. Разработанная для этой цели тестовая плата (рис. 9) имела следующие параметры рисунка соединений:

- диэлектрик: FR4;
- толщина платы: 1,7 мм;
- толщина меди: 400 мкм;
- поверхность: паяльная маска;
- структура: впрессованные проводники из толстого слоя меди, двусторонний рисунок соединений без покрытия, горизонтальное положение монтажа.

Схема расположения выводов токопроводящей дорожки из толстого слоя меди была выполнена в виде неразветвленной сети, с тем чтобы конвекция и излучение каждой индивидуальной дорожки давали эффект

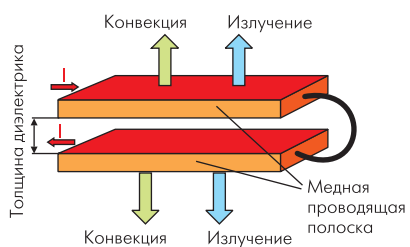


Рис. 10. Тестовый рисунок соединений для исследований

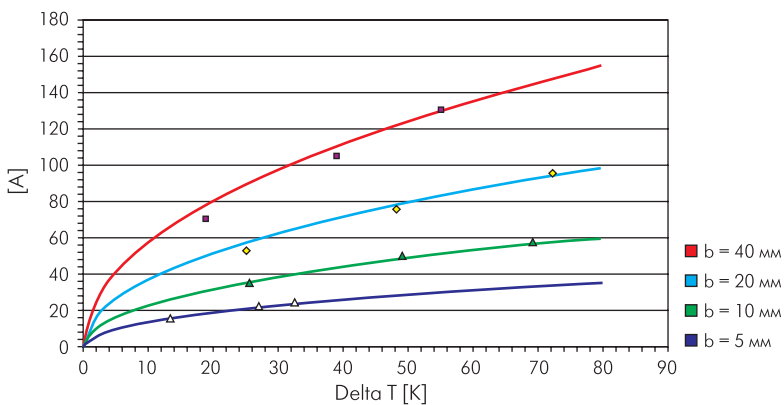


Рис. 11. Графическое представление результатов, полученных при измерении

только в вертикальном направлении на верхней и нижней поверхностях (рис. 10).

Характерные кривые, полученные в результате испытаний (рис. 11), показывают, что благодаря технологии «Айсберг» можно проводить ток сравнительно больших значений даже при работе на теплоотдачу только одной стороны (конвекция и излучение в вертикальном направлении верхней и нижней поверхностей).

Результаты измерений исходной температуры посредством тепловизионной камеры оказались идентичными предполагаемой мощности излучения нагревающей поверхности $\epsilon = 0,85$.

Рисунок межсоединений

Правила проектирования рисунка схемных межсоединений определяются, главным образом, комплексным двухэтапным процессом травления зон с толстым слоем меди. В следствие этого, невозможно пользоваться известными правилами проектирования стандартной технологии, согласно которой покрытие обычно производится слоем меди толщиной до 105 мкм. Нижеследующее резюме (рис. 9, таблица 2) дает общее представление о наиболее важном критерии нанесения рисунка соединений, используя в качестве примера вариант толщиной слоев меди 70/400 мкм.

Здесь необходимо отметить, что приведенные характеристики постоянно обновляются, поскольку данная технология непрерывно совершенствуется.

Впервые технология «Айсберг» обещает получение печатных плат с комбинированным рисунком соединений с толстым и тонким слоем меди, которые по своим конечным характеристикам не отличаются от стандартных плат. Наряду с дальнейшим совершенствованием процесса мы совместно с нашими клиентами начнем замену первоначальной продукции на продукцию, выпущенную с помощью новой технологии. В будущем осуществление проекта будет продолжаться в сотрудничестве с компанией Schweizer Electronic AG.

Настоящая статья первоначально была представлена на технической конференции EIPC в Барселоне в 2005 году. Здесь она напечатана вновь, с разрешения авторов.

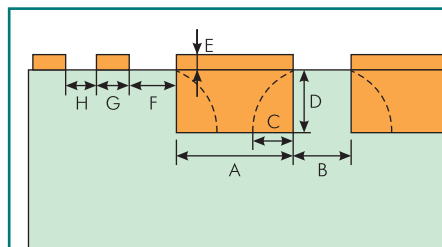


Рис. 12. Схема расположения выводов

Таблица 2

	Значения для рисунка проводников толщиной 70/400 мкм
A	≥1200 мкм
B	≥400 мкм
C	примерно 500 мкм
D	330–350 мкм
E	70 мкм
F	≥400 мкм
G	≥200 мкм
H	>250 мкм
X*	≥1,6 мм
Y*	≤1,6

- A — Минимальная ширина печатного проводника рисунка соединений с толщиной слоя меди 400 мкм
- B — Минимальное расстояние между токопроводящими дорожками ПП с толщиной слоя меди 400 мкм
- C — Подтравливание печатного проводника с толщиной слоя меди 400 мкм
- D — Сниженная толщина рисунка соединений с толщиной слоя меди 400 мкм
- E — Толщина меди с наружной стороны при толщине в густой части минимум 25 мкм
- F — Минимальное расстояние между проводниками рисунка с толщиной слоя меди 70 и 400 мкм
- G — Минимальная ширина проводника с рисунком, покрытым слоем меди толщиной 70 мкм
- H — Минимальное расстояние между токопроводящими дорожками рисунка с толщиной слоя меди 70 мкм
- X* — Минимальная толщина платы (двусторонней с толщиной слоев меди 400/70 мкм)
- Y* — Коэффициент сквозных отверстий
- * — не показано на рис. 9