

ТЕХНОЛОГИИ

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПОДЛОЖКОЙ И КРИСТАЛЛОМ.

Часть 1.

Андерфиллы капиллярного растекания



Текст: Александр Скупов



В статье дан ответ на вопрос, почему нужно использовать специальные полимеры (андерфиллы) для заливки пространства между подложкой и смонтированным на ней перевёрнутым кристаллом, а также описываются основные свойства таких материалов. В качестве примера рассматривается один из классов андерфиллов, наиболее активно используемый современной микроэлектроникой.

С увеличением производительности микросхем, их мощности, числа вводов/выводов и одновременном уменьшении топологических норм на смену проволочной разварке приходит монтаж перевёрнутого кристалла (flip chip). Это позволяет наиболее эффективно использовать площадь кристалла, отводить тепло, увеличивать быстродействие устройств и степень интеграции при корпусировании.

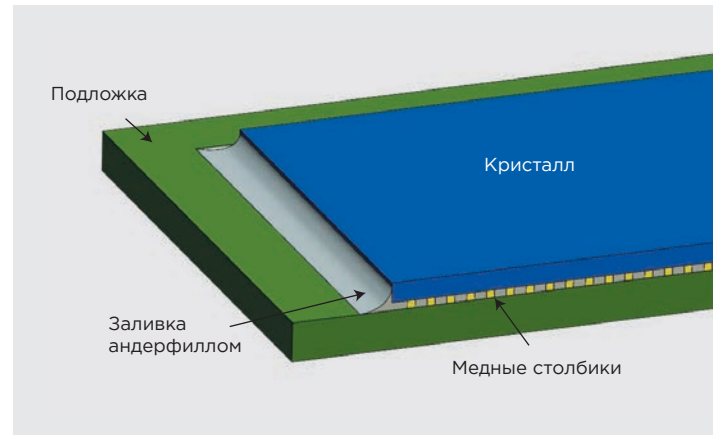
Использование перевёрнутого кристалла позволяет избавиться от ряда проблем при корпусировании, существовавших при проволочной разварке. Однако здесь появляются свои специфические сложности. Главная из них – проблема надёжности соединения шариковых выводов и подложки. Для снижения стоимости микросхемы в качестве подложки, на которую монтируется кристалл, используется наполненный полимер (FR4, Rogers и т. п.). Как правило, коэффициент теплового расширения (КТР) этого материала значительно (на порядок) превышает КТР кристалла. Это означает, что при изменении температуры в такой сборке будут возникать существенные термомеханические напряжения. При большом размере кристалла эти напряжения могут привести к отрыву выводов либо разрушению самого кристалла. Данная проблема практически отсутствует при монтаже кристалла на подложку из керамики или на кремниевую промежуточную подложку (инерпоизер). Однако в этом случае не решается проблема низкой стойкости такой сборки к внешним механическим воздействиям (вибрациям, ударам), поскольку площадь механического контакта кристалла и подложки существенно меньше площади самого кристалла.

Чтобы значительно уменьшить влияние описанных проблем, необходимо применять специальные материалы. Они называются андерфиллы (англ.: underfill, under – под, fill – заполнять). Эти материалы разработаны для заполнения пространства между кристаллом и подложкой различными способами.

Основные свойства андерфиллов

Главным назначением андерфилла (рис 1) является распределение по всей площади кристалла термомеханических напряжений, которые возникают между ним и подложкой. Андерфилл представляет собой полимерный материал, часто с наполнителем из неорганического вещества. Поведение сборки существенно зависит от следующих свойств андерфилла¹: модуля упругости, КТР, влагопоглощения, адгезии к подложке/пассивации кристалла.

Численное моделирование поведения сборок с андерфиллом² и опыт эксплуатации изделий с его использованием³ позволили условно выявить некоторые закономерности в зависимости от свойств материала.



1

Поперечное сечение смонтированного на подложке кристалла с использованием андерфилла

Модуль упругости андерфилла напрямую влияет на механические напряжения, возникающие после его отверждения. Желательно, чтобы андерфилл имел высокий модуль упругости для максимально жёсткого соединения подложки и кристалла. Однако при большом размере кристалла слишком высокое значение модуля упругости может вызвать разрушение самого кристалла. Значения около 8-10 ГПа считаются оптимальными для большого числа применений.

КТР является ключевым параметром для обеспечения надёжности сборки. При изменениях температуры металл выводов подвержен сдвиговым деформациям из-за существенной разницы между КТР подложки и кристалла. Для того, чтобы эти деформации не увеличивались, КТР андерфилла должен быть меньше, чем у подложки. Оптимальным значением КТР считается $22-26 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Это значение близко к КТР сплавов, из которых сформированы выводы кристалла⁴.

Влагопоглощение материала должно быть низким, чтобы не допустить коррозии металлических проводников на кристалле. Оптимальным считается влагопоглощение $<0,25 \%$ при стандартном тесте в кипящей воде в течение 8 часов.

Адгезия важна для предотвращения отслоения материала. Отслоение андерфилла от подложки или от поверхности кристалла может привести к целому ряду отрицательных последствий: от конденсации влаги и коррозии проводников до отрыва выводов. Обычно андерфиллы содержат в своём составе праймеры, поэтому проблема адгезии для них стоит не столь остро.

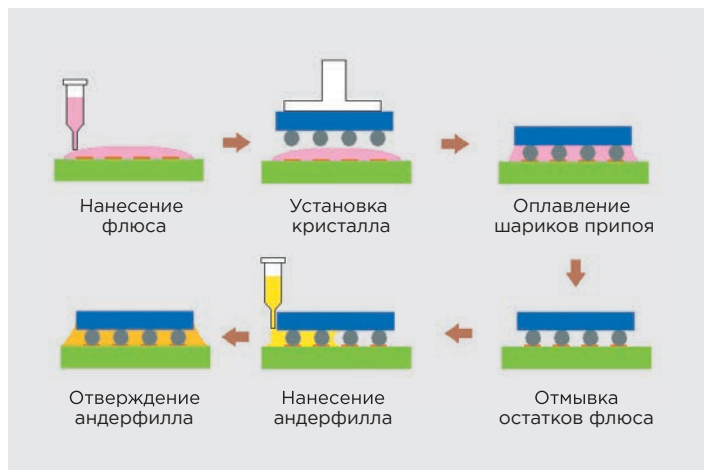
Перечисленные свойства воздействуют на систему именно в совокупности, из них невозможно выделить главный фактор. Кроме того, некоторые из этих свойств оказывают влияние друг на друга, пусть и не определяющее. Универсального рецепта андерфилла, подходящего для всех применений, не существует, его необходимо выбирать, исходя из задачи.

¹ Materials for Advanced Packaging, edited by D. Lu, C.P. Wong, Springer Science and Business Media, 719 p., 2009

² D.G. Yang et al, Investigation on Flip Chip Solder Joint Fatigue With Cure-Dependent Underfill Properties, IEEE Transactions on Components and Packaging Technology, Vol. 26, № 2, pp. 388-398, 2003

³ G. Fabbri, C. Sartori, Comparison of Mechanical Reliability of Three Underfill Materials for Flip Chip Bumps on High Tg PCB for Automotive Applications, The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging, Vol. 24, № 4, 2001

⁴ Materials for Advanced Packaging, edited by D. Lu, C.P. Wong, Springer Science and Business Media, 719 p., 2009



2

Технологический маршрут монтажа кристалла с использованием андерфилла капиллярного растекания

Виды андерфиллов и технологии их применения

Андерфилл можно нанести либо до установки кристалла, либо после. В зависимости от предпочтений заказчика, которые диктуются желаемой производительностью и уровнем качества, выбирается тот или иной метод.

Исторически первыми андерфиллами для монтажа кристалла были андерфиллы капиллярного растекания (англ.: capillary-flow). Они наносятся в жидком виде вдоль кромки уже припаянного кристалла и под действием капиллярного эффекта затягиваются в узкий зазор между подложкой и кристаллом. Затем они отверждаются под действием повышенной температуры (150-175 °С).

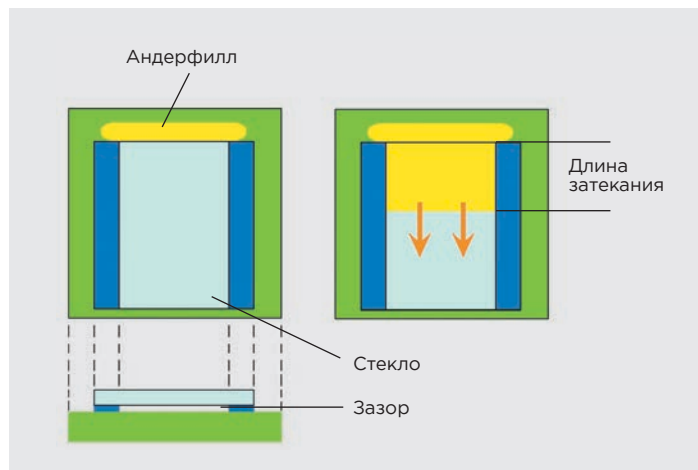
Очень близким к андерфиллам капиллярного действия является молд-андерфилл (англ.: mold underfill – MUF). Это эпоксидный компаунд для заливки пластикового корпуса микросхемы, свойства которого оптимизированы таким образом, чтобы в процессе литья он затекал под кристалл. Использование такого материала очень удобно, но ограничено и часто требует особой оптимизации литевой формы (матрицы) для процесса.

В качестве альтернативы андерфиллам капиллярного растекания было разработано множество вариантов материалов, которые наносятся перед установкой кристалла. Наиболее популярными из них на данный момент являются нерастекающиеся андерфиллы (англ.: no-flow). Они наносятся в жидком виде до монтажа кристалла и отверждаются в процессе оплавления выводов, одновременно выполняя роль флюса. Также существуют андерфиллы, наносимые на уровне пластины, кристалла или платы в виде плёнок либо жидкостей. Разработки таких материалов активно ведутся в настоящее время.

Далее в статье будут рассмотрены особенности применения андерфиллов капиллярного действия.

Андерфиллы капиллярного растекания

Технологический процесс монтажа кристалла с использованием андерфилла капиллярного растекания показан



3

Схема моделирования затекания андерфилла в узкий зазор

на рис. 2. Отмывка флюса не требуется, если используется флюс, который специально оптимизирован для данного процесса, и его остатки не снижают адгезию андерфилла.

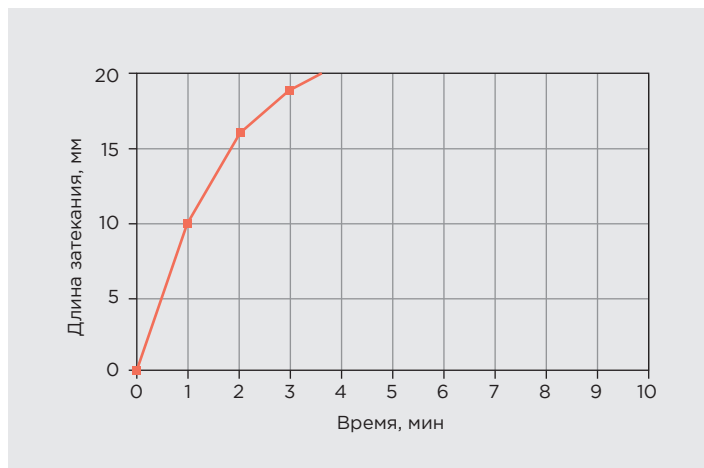
Данные продукты поставляются в виде жидкостей с вязкостью 10-70 Па*с. В качестве основы материала чаще всего используется эпоксидная смола. Для достижения необходимых значений модуля упругости, КТР, влагопоглощения и прочих параметров в материал вносится неорганический наполнитель. Чаще всего это оксид кремния (SiO_2), иногда используется оксид алюминия (Al_2O_3). Размер частиц зависит от величины зазора, для заполнения которого создан материал. Для доступных в настоящий момент андерфиллов он обычно составляет 0,3-5 мкм. Частицы наполнителя имеют сферическую форму и достаточно узкое распределение по размерам, что позволяет минимизировать вязкость материала.

Если расстояние между выводами больше высоты зазора, то при теоретическом моделировании процесса растекания материала часто рассматривается простой случай узкого зазора между двумя плоскими поверхностями без учёта наличия выводов⁵. Эта же модель используется и для оценки поведения андерфилла на практике (рис. 3). В качестве одной из ключевых характеристик андерфилла выступает скорость заполнения им зазора. Эту характеристику чаще всего отображают в графическом виде, как показано на рис. 4. Для максимального увеличения скорости затекания подложка с кристаллом при нанесении находится на нагретой поверхности.

Когда расстояние между выводами становится сравнимо с высотой зазора, при численном моделировании растекания расположением формой выводов уже не пренебрегают, что несколько усложняет расчёт⁶.

⁵ S. Han, et al., Experimental and Analytical Study on the Flow of Encapsulant During Underfill Encapsulation of Flip-Chips, Proceedings of the 46th Electronic Components and Technology Conference, pp. 327-334, 1996

⁶ L. Nguyen et al., Underfill of Flip Chip on Laminates: Simulation and Validation, IEEE Transactions on Components and Packaging Technology, Vol. 22, №. 2, pp. 168-176. 1999



4 Скорость затекания андерфилла Namics U8410-73A для зазора шириной 50 мкм между двух стеклянных пластин при температуре 110 °С.

Для андерфиллов капиллярного растекания критически важно однородное распределение наполнителя в объеме материала. Неравномерность может привести к блокированию узкого зазора и остановке растекания (образование пустоты) либо неоднородному растеканию (локальное изменение плотности). Такие дефекты часто ведут к механическому разрушению сборок при тестировании на термоциклирование и удары. Вероятность возникновения таких дефектов существенно увеличивается, когда микросхема имеет высокую плотность расположения выводов.

В качестве примера коммерчески доступного андерфилла можно привести U8410-73A производства японской компании Namics. Его основные свойства даны в **Т 1**. Размер частиц наполнителя и вязкость оптимизированы для заливки кристаллов с выводами диаметром 30-50 мкм⁷.

С увеличением размера кристаллов, перехода от шариковых выводов к столбиковым с малой высотой и шагом между ними капиллярные андерфиллы становятся неудобными для применения. Для узкого зазора будет сложной отмывка флюса, значительно увеличится время заполнения зазора андерфиллом, что существенно снизит производительность линии. Слишком частое расположение выводов приводит к неоднородному заполнению зазора и пустотам. Столкнувшись с такими проблемами, микроэлектроника требует альтернативных материалов. Таковыми стали андерфиллы, наносимые до монтажа кристалла: не растекающиеся, на уровне пластины и их производные. Обзору этих материалов и технологий их применения будет посвящена следующая статья.

Заключение

Для перераспределения термомеханических напряжений при монтаже перевернутого кристалла, а также для улучшения

Т 1

Типичные свойства андерфилла капиллярного растекания Namics U8410-73A

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ	ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ
Содержание наполнителя (по массе)	65	%
Средний размер частиц наполнителя	0,6	мкм
Максимальный размер частиц наполнителя	3,0	мкм
Вязкость	45	Па с
Теплопроводность	0,5	Вт м ⁻¹ К ⁻¹
Температура стеклования T _g	139 (DMA*) 120 (TMA*)	°С
КТР	<T _g : 28 >T _g : 90	10 ⁻⁶ °С ⁻¹
Модуль упругости при изгибе	11,0	ГПа
Прочность при изгибе	150	МПа

DMA - dynamic mechanical analysis, динамический механический анализ; TMA - thermomechanical analysis, термомеханический анализ

его механической надёжности при вибрации и ударных нагрузках используются андерфиллы.

Ключевыми свойствами при выборе андерфилла являются КТР, модуль упругости, температура стеклования, влагопоглощение, адгезия. Надёжность и успешная эксплуатация микросхем, собранных с использованием андерфилла, определяется тем, насколько адекватно были подобраны свойства материала заданным конструкционным параметрам и условиям эксплуатации.

Наиболее распространёнными в настоящее время являются андерфиллы капиллярного растекания. Они наносятся в жидком виде вдоль периметра кристалла, заполняют зазор, после чего отверждаются при повышенной температуре. Скорость и характер заполнения зазора с помощью этих материалов зависит от содержания наполнителя и однородности распределения его частиц в объёме. Использование андерфиллов капиллярного растекания становится ограниченным при наблюдаемой тенденции к уменьшению размеров выводов и шага их расположения.

Группа компаний Остек сотрудничает с производителями андерфиллов, осуществляющими передовые разработки и исследования в этой отрасли для удовлетворения потребностей производителей микросхем. Специалисты Остека могут оказать технологическую поддержку в области применения подобных материалов, совместно с производителями провести исследования и тесты, подобрать оптимальный технологический маршрут и материалы.