



Система регенерации хлорида меди Vis-U-Etch 5 в кислых травильных растворах. Эффективное повышение качества травления

Процессы кислого травления меди имеют место практически на каждом производстве печатных плат. Несмотря на относительно высокие показатели качества травления, растворы на основе хлорида железа (III) становятся все менее распространенными по причине существенного снижения скорости травления по мере накопления меди в растворе. Более стабильными по свойствам являются меднохлоридные растворы, однако растущие требования к точности и постоянная тенденция к уменьшению ширины проводников и зазоров между ними усложняют задачу качественного травления.

Татьяна Смертина

smertina@absolut.spb.ru

Эффективность процесса травления определяется скоростью и качеством травления. Скорость влияет на производительность процесса, а качество травления, определяемое величиной бокового подтравливания, является важнейшим фактором, определяющим возможности производства, то есть класс точности производимых печатных плат. В соответствии с требованиями ГОСТ 23751 предельное отклонение ширины печатного проводника, контактной площадки, концевого печатного контакта, экрана в узких местах для ПП 5-го класса точности составляет $+0/-0,03$ мм без покрытия и $\pm 0,03$ мм с покрытием. Таким образом, величина бокового подтравливания должна находиться в пределах 30 мкм на обе стороны ширины проводника или другого элемента проводящего рисунка.

Меднохлоридные растворы травления в идеальных условиях обладают достаточной стабильностью и позволяют травить с необходимой точностью. Однако добиться высокого процента выхода годной продукции, близкого к 100%, на практике в условиях серийного производства очень трудно.

На обе характеристики, определяющие эффективность травления, влияет множество причин, но для того, чтобы лучше понять, каким образом достичь желаемых улучшений, следует сначала подробно рассмотреть влияние различных факторов на процесс травления.

Скорость травления

Рассмотрим один простой пример. Предположим, что установка травления снабжена одной неподвижной форсункой и конвейером в неподвижном состоянии, на котором помещается заготовка. После того как включается распыление, зона, находящаяся непосредственно под форсункой, подвергается очень быстрому травлению. При непосредственном тестировании с помощью этого метода медь толщиной 35 мкм будет стравлена до базового

материала менее чем за минуту. Однако важнее принять во внимание, что зона, расположенная всего в 7 мм от зоны непосредственного распыления травится со скоростью вдвое меньшей, хотя травильный раствор также попадает на нее. Основная причина этого состоит в том, что хлорид меди (II), контактируя с медью, образует хлорид меди (I) и перестает осуществлять травление. Для продолжения травления необходимо, чтобы свежий раствор с хлоридом меди (II) вытеснил собой старый с хлоридом меди (I). Наиболее эффективно это происходит в зоне прямого распыления непосредственно под форсункой.

Можно провести тест на любой установке травления, если отключить осцилляцию (покачивание) форсунок и пропустить заготовки через камеру травления. Этот тест отлично продемонстрирует, в какой части камеры травление действительно происходит и какая площадь между форсунками оказывается неохваченной. Предположим, что форсунки расположены через каждые 4 см. Сравнивая скорость травления такой установки с установкой, где форсунки расположены через каждые 2 см, мы обнаружим, что для стравливания того же количества меди скорость конвейера может быть увеличена вдвое, благодаря увеличению контактной области.

Также важен тип используемых форсунок. Обычно форсунки с конусообразным факелом распыления позволяют добиваться большей скорости травления, чем форсунки с плоским факелом, т. к. их конструкция позволяет подавать больший объем травильного раствора. Однако все более популярными становятся форсунки с плоским факелом из-за потребности в более высоком качестве травления. Объем раствора, подаваемого из таких форсунок, меньше, но направление распыляемых струй строго перпендикулярно плоскости платы и параллельно направлению травления. Таким образом направление распыления способствует уменьшению бокового подтравливания (см. рис. 1, 2).



Рис. 1. Плоский тип распыления (форсунки фирмы IKEUCHI)



Рис. 2. Конусообразный тип распыления (форсунки фирмы IKEUCHI)

Для увеличения скорости травления при небольшой плотности расположения форсунок применяется осцилляция (покачивание) форсунок. Если плотность форсунок очень низкая, осцилляция действительно увеличивает скорость травления. Если плотность форсунок высока насколько возможно, влияние осцилляции практически незаметно. При использовании осцилляции важно правильно настроить скорость покачивания (количество циклов в минуту). Если провести тест с различными значениями скорости с разницей в 2 цикла в минуту, начиная с 20 циклов в минуту, можно отметить, что скорость травления увеличивается и уменьшается по синусоиде. Оптимальная скорость осцилляции подбирается для каждого размера и толщины печатных плат. Толщина изменяет скорость конвейера, поэтому скорость осцилляции может измениться.

Многие установки травления сконструированы специально для обработки очень тонких базовых материалов. Для предотвращения подъема и застревания заготовок внутри травильной камеры применяются различные типы роликов, помещаемых сверху. Это может вызвать уменьшение скорости травления, так как чем больше затруднено функционирование форсунок, тем ниже скорость травления на верхней стороне заготовок. Нижняя сторона страдает меньше, поскольку хлорид меди (I) не скапливается на нижней стороне заготовок, а сразу стекает с них.

Увеличить скорость травления также можно с помощью повышения давления распыления. Большее давление означает более быструю подачу свежего травильного раствора и более быстрое травление меди. Это становится очень важным, когда ширина проводников и зазоров на плате очень мала. В этом случае главной задачей является быстрое удаление старого раствора под действием напора струи и замена свежим раствором, содержащим хлорид меди (II). Многие современные установки травления позволяют работать с давлением распыления до 3 бар. Возможность применения более высокого давления будет лимитироваться диаметрами отверстий обрабатываемых печатных плат, так как возникает опасность нарушения «тентинговых» перекрытий отверстий фоторезистом.

Повышение скорости травления за счет повышения температуры раствора происходит за счет ускорения химических реакций. Главным ограничением здесь является материал, из которого изготовлена травильная машина.

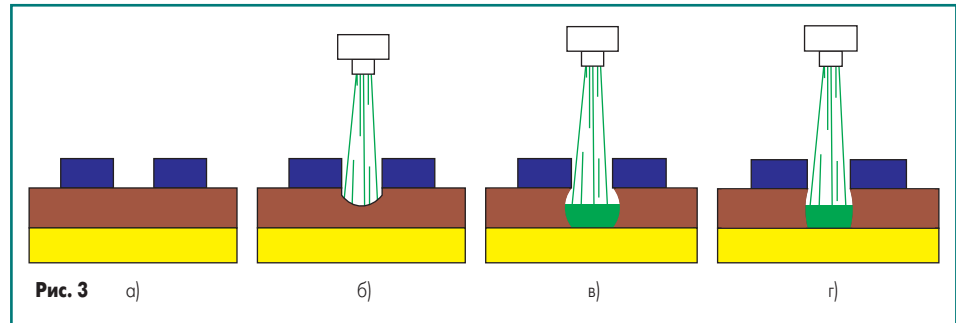


Рис. 3

Лучше работать при максимально допустимой температуре, рекомендуемой производителем оборудования. А если нет уверенности в эффективности системы охлаждения, лучше заведомо задавать значение более низкое, чем верхний предел.

Фактор подтравливания

Фактор подтравливания или, другими словами, боковое подтравливание — это отклонение от вертикальной плоскости торцов проводников. Он зависит от нескольких причин.

Первая — концентрация свободной кислоты в рабочем растворе травления. Для того чтобы понять, почему так важна эта характеристика, рассмотрим следующие рисунки.

На рис. 3а показано, как выглядит заготовка после операции проявления перед травлением. Голубой цвет — сухой пленочный фоторезист (СПФ), коричневый — медная фольга, желтый — базовый материал.

На рис. 3б изображено распыление травильного раствора через форсунки, который начинает растворять незащищенную поверхность меди. На данном этапе это поможет понять, что точно происходит при травлении меди с помощью хлорида меди (II). Хлорид меди (II) CuCl_2 — это один атом меди и два атома хлора. Когда CuCl_2 контактирует с медью (Cu^0), один из атомов хлора из молекулы CuCl_2 переходит к атому меди, так что образуются две молекулы хлорида меди (I) CuCl . Так как ни одного дополнительного атома хлора для перехода больше нет, CuCl становится «мертвым» травителем. Чтобы травление продолжилось, CuCl должен найти еще один атом хлора и стать регенерированным травителем CuCl_2 .

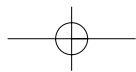
Рис. 3в показывает, как происходит процесс травления при избытке соляной кислоты (HCl) в растворе травления. Как можно ви-

деть, «лужица» травильного раствора (на рисунке зеленого цвета) в этом зазоре травит не только в направлении вниз, но также и в стороны. Это происходит потому, что CuCl переходит в этом зазоре в CuCl_2 благодаря наличию свободной HCl . Хлор, содержащийся в HCl , является основным источником для регенерации CuCl до CuCl_2 . Регенерация в зазорах тем больше, чем выше содержание свободной HCl в растворе, и тем больше боковое подтравливание. При попытке травить тонкие проводники и зазоры это боковое подтравливание усложняет задачу. Если допустить слишком высокое содержание HCl , получение тонких проводников и зазоров оказывается невозможным. Увеличение содержания свободной HCl также приводит к увеличению скорости травления Cu .

Поначалу кажется, что это хорошая идея, но до тех пор, пока мы не осознаем, что для снижения опасности перетравки необходимо увеличить ширину дорожек из СПФ. С увеличением ширины фоторезиста закрывает большую площадь меди, которая подтравливается, что в действительности приводит к замедлению процесса травления. Для узких зазоров и проводников дополнительный запас ширины фоторезиста может затруднить травление или сделать его невозможным.

На рис. 3г показано, как медь травится при нормальности* травильного раствора $\leq 0,04\text{N}$. Так как в зазоре практически нет свободной HCl , боковое подтравливание сведено к минимуму. Причина в том, что травильный раствор поступает из форсунок, направленных вниз, и когда струя свежего травителя поступает в зазор, он сначала ударяется о нижнюю поверхность, переходит из CuCl_2 в CuCl и перестает травить. Травления в стороны практически не происходит, так как нет источника Cl -ионов для образования CuCl_2 .

* Нормальная (эквивалентная) концентрация, или нормальность (N), показывает число эквивалентных масс, содержащееся в 1 л раствора. Вычисляется как отношение массы вещества, содержащегося в 1 л раствора (в г/л) к эквивалентной массе этого вещества (в г/моль).



Итак, высокая концентрация свободной кислоты в растворе травления является основной причиной бокового подтравливания. Но другим немаловажным фактором является направление струи из распыляющих форсунок. Очевидно, что идеальным вариантом будет струя под углом 90° к поверхности травления.

На направление струи влияют 2 фактора: вид форсунок и тип осцилляции форсунок. Предпочтительным вариантом являются форсунки с плоским факелом, так как они обеспечивают строго перпендикулярное направление распыления по отношению к плоскости травления (см. рис. 1, 2).

Осцилляция (покачивание) бывает двух типов. Первая — покачивающий тип, когда происходит покачивание конструкции с форсунками вперед-назад по дуге. При этом распылитель направляется к плате под изменяющимся углом по дуге на 90° . Такой тип распыления ухудшает боковое подтравливание.

Второй тип — горизонтальное возвратно-поступательное движение всей системы форсунок. Этот тип наиболее предпочитаем, так как также обеспечивает постоянное направление распыления, наиболее близкое к 90° по отношению к плоскости плат. При использовании такой осцилляции форсунок достигается наименьшая величина бокового подтравливания.

Итак, на качество травления влияют многие факторы, комплексное сочетание которых позволяет существенно повысить эффективность процесса. Этого можно достигнуть подбором оптимальных параметров температуры, скорости конвейера, типа осцилляции форсунок, давления распыления, а также плотности расположения и типа самих форсунок. Но также одним из наиболее важных факторов, влияющих на боковое подтравливание, является обеспечение низкой концентрации свободной соляной кислоты или ее отсутствие в зоне травления.

Автоматические системы контроля травильных растворов. Реагенты и методы контроля

Для поддержания работоспособности раствора травления (регенерации CuCl в CuCl_2), установки травления обычно снабжены автоматическими системами контроля. Чтобы лучше разобраться в предлагаемом варианте решения проблемы, следует сначала поговорить о типах химических реагентов для регенерации и различных методах контроля, используемых в этих системах.

Для регенерации CuCl в CuCl_2 обычно используются следующие вещества:

- газообразный хлор;
- перекись водорода;
- хлорат натрия.

Со всеми тремя используется соляная кислота.

Использование газообразного хлора становится все более и более ограниченным. Этому есть много причин. При поверхностном рассуждении газообразный хлор кажет-

ся наилучшим вариантом, так как имеет наименьшую стоимость, однако на практике она наиболее высока по причине чрезвычайно высокой стоимости первоначального запуска и требуемого обслуживания. Также существует опасность выбросов хлора.

Перекись водорода применяется для смешивания ее с присутствующей в растворе травления соляной кислотой с целью выделения хлора, необходимого для регенерации. Проблемы, связанные с перекисью водорода, основаны на свойственном ей недостатке стабильности. Перекись водорода очень огнеопасна, и при обращении с ней требуется принимать меры предосторожности, чтобы избежать возгорания. Недостаток стабильности перекиси водорода также становится очевиден в ходе регенерации травильного раствора. При добавлении перекиси водорода в раствор она очень быстро реагирует с имеющейся в растворе свободной соляной кислотой и приводит к внезапному выбросу газообразного хлора. Это можно заметить по характерному запаху от установки травления, резкому увеличению значения окислительно-восстановительного потенциала и по увеличению скорости и снижению качества травления, что делает травильный раствор очень нестабильным.

Хлорат натрия также применяется для смешивания с присутствующей соляной кислотой с целью выделения хлора, необходимого для регенерации. В отличие от перекиси водорода, раствор хлората натрия, используемый в производстве печатных плат, в жидкой фазе негорюч, что делает обращение с ним значительно безопаснее. При добавлении хлората натрия в травильный раствор выделение кислорода происходит медленнее, чем при использовании перекиси водорода, что приводит к более медленному повышению количества хлора в установке травления. Благодаря этому могут быть даже устранены колебания скорости и качества травления, наблюдаемые при использовании перекиси водорода. Все это дает в результате более стабильный травильный раствор.

Рассмотрим методы контроля, используемые в автоматических системах контроля травильных растворов на основе хлорида меди (II):

1. ОВП/нормальность/плотность;
2. светопроницаемость.

В первом методе используются: датчик окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), контролирующий подачу окислителя, датчик токопроводности (для определения кислотной нормальности), контролирующий подачу соляной кислоты и добавление воды для поддержания плотности раствора. Большим недостатком данного типа контроля является требование наличия избыточного содержания свободной кислоты (от 3% по объему в одних системах и до 30–40% в других) в травильном растворе для корректной работы датчика токопроводности. Данные об окислительно-восстановительном потенциале снимаются в диапазоне от 520 до 1000 мВ (максимальное значение для данного зонда). 520 мВ — это критическая точка, при которой

травильный раствор может регенерироваться. Меньшее напряжение не позволяет регенерации продолжаться, а при напряжении >520 мВ травильный раствор полностью регенерируется, пока значение ОВП не упадет до значения ниже 520 мВ. Из-за этого возникает множество проблем.

Во-первых, из-за большого количества свободной соляной кислоты в растворе необходимо быть очень осторожным при добавлении окислителя. Избыток окислителя и выделившегося газообразного хлора, не расходуемого в ходе регенерации CuCl в CuCl_2 , приводит к его выделению в атмосферу. Формируются чрезвычайно небезопасные для здоровья условия, а газообразный хлор воздействует как на заготовки, ухудшая их качество, так и на материал самой установки травления.

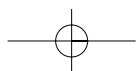
Во-вторых, во избежание проблем требуется осуществлять очень строгий мониторинг самой системы контроля. На многих производствах с данным типом контроля случались частые случаи выбросов хлора вследствие избытка кислоты, средняя концентрация которой обычно составляет 35–105 г/л.

Данный тип контроля может использоваться с газообразным хлором, перекисью водорода или хлоратом натрия. При работе с хлором всегда существует опасность выброса в рабочем помещении. Хлор также часто выделяется, если в качестве окислителя используется перекись водорода, в силу ее летучести. При использовании хлората натрия объем выделяющегося хлора при избыточном окислении может быть еще большим, так как хлорат натрия выделяет кислород медленнее, чем перекись водорода. Поэтому в тот момент, когда вы чувствуете запах хлора, объем добавленного хлората натрия уже является избыточным. Все эти выбросы хлора происходят по причине избытка соляной кислоты.

Второй метод контроля основан на свойстве растворов — светопроницаемости. Использование оптического метода, не требующего повышенного содержания кислоты, делает возможной работу с травильным раствором, практически лишенным избыточных реагентов. Поэтому обеспечивается наилучшая стабильность. При почти полном отсутствии свободной кислоты ($\leq 0,04N$) окислитель может подаваться в раствор очень быстро и безопасно, поскольку для его реакции с несвязанной кислотой содержание последней недостаточно. С другой стороны, кислота также может подаваться в раствор очень быстро, так как концентрация окислителя для осуществления реакции также будет недостаточной (2–5 г/л).

На чем основан данный метод?

Предположим, что установка травления не снабжена системой контроля и регенерации хлорида меди. Через некоторое время после начала работы мы замечаем, что раствор травления становится более темным и мутным, и обращаем внимание, что скорость травления замедляется. Не имея системы контроля, мы понимаем, что раствор нуждается в добавлении кислоты или окислителя,



либо сразу обоих. Сначала производится забор пробы травильного раствора, в который добавляется кислота. Если произошло цветовое изменение, и чистый зеленый цвет вернулся, добавляем кислоту непосредственно в рабочий раствор. Если же никакого изменения цвета не произошло, проба возвращается в установку травления и производится забор свежей пробы. Прибавляется окислитель, и снова наблюдаем, произойдет ли восстановление прозрачного зеленого цвета. Если это правильно (изменение цвета снова произошло), проба возвращается в установку травления, и окислитель вводится в рабочий раствор. Если никакого цветового изменения в пробе не происходит, тогда добавляется кислота. Цвет раствора должен восстановиться до чисто-зеленого. Проба возвращается в установку травления, кислота и окислитель (при необходимости) добавляются поочередно, чем предотвращается внезапное выделение газообразного хлора.

Несмотря на то, что этот метод показывает, какой химикат является необходимым, его применение вручную не очень практично, так параметры сильно изменяются между циклами регенерации. Что касается добавления кислоты первой, практика показала, что при добавлении окислителя происходит некоторое посветление раствора в силу простого разбавления по объему, тогда как при добавлении кислоты нежелательного изменения цвета не происходит.

Для осуществления автоматического контроля процесса травления компанией Oxford V.U.E. (США) разработан автоматический контроллер Vis-U-Etch, являющийся единственной системой контроля процесса травления на основе светопрозрачности. Травильный раствор контролируется непрерывно с помощью специального фотоэлемента на входе, реагирующего на любое потемнение раствора (см. рис. 4). По мере того как травильный раствор начинает темнеть (становиться непрозрачным), сразу начинается цикл регенерации.

Система Vis-U-Etch добавляет сначала кислоту и контролирует результат посредством фотоэлемента на выходе. Если изменения цвета не происходит в течение 7 секунд, Vis-U-Etch переключается на подачу окислителя и снова контролирует изменение цвета посредством фотоэлемента. Если цвет снова не изменяется в пределах 7 секунд, снова происходит переключение на кислоту. Если при добавлении какого-либо из реактивов происходит изменение цвета, семисекундный цикл приостанавливается, и данный ре-



Рис. 4. Фотоэлемент, используемый в системе Vis-U-Etch 5

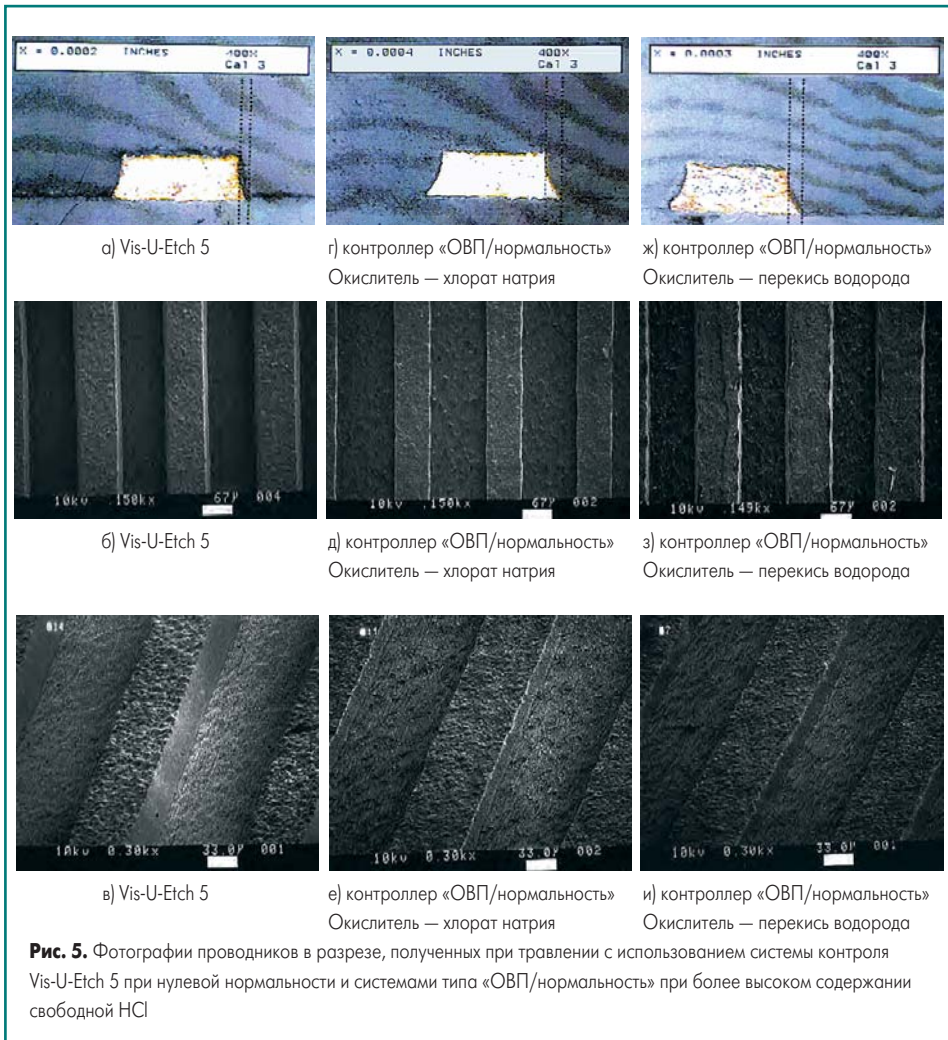


Рис. 5. Фотографии проводников в разрезе, полученных при травлении с использованием системы контроля Vis-U-Etch 5 при нулевой нормальности и системами типа «ОВП/нормальность» при более высоком содержании свободной HCl

актив непрерывно поступает в емкость с травильным раствором до завершения регенерации (фотоэлемент на входе фиксирует прозрачный цвет) либо до прекращения изменения цвета (фотоэлемент на выходе фиксирует темный цвет), тогда вновь осуществляется пробное внесение другого реактива. Так как травильный раствор контролируется непрерывно, изменение цвета раствора в ходе работы почти незаметно, и это говорит об эффективности данной системы.

Рассмотрим, что же происходит с химической точки зрения. При простом рассмотрении компоненты в травильном растворе могут существовать в нескольких формах:

- Хлорид меди (II) — обеспечивает прозрачный зеленый цвет раствора и осуществляет травление.
- Гидроксид меди (II) — дает мутно-зеленый цвет раствору и требует соляной кислоты для перехода в хлорид меди (II).
- Хлорид меди (I) — дает темно-зеленый цвет и требует добавления окислителя, чтобы перейти в двухвалентную форму.
- Комбинация перечисленных выше. Комбинация гидроксида меди (II) и хлорида меди (I) делает травильный раствор мутным и темно-зеленым и требует кислоты для перехода гидроксида меди в хлорид меди (II) (частично осветляющий пробу раствора), и окислителя для перехода хлорида меди (I) в хлорид меди (II) (частичное осветление пробы).

Для передачи света неважно, стал ли раствор мутным от гидроксидов или темным от хлорида меди (I) — свет не пройдет ни через тот, ни через другой. Но он пройдет через прозрачный регенерированный хлорид меди (II). Таким образом, светопередачу можно использовать для определения, когда регенерация необходима, а когда ее нужно остановить, основываясь на способности пропускать или блокировать свет. Также возможно использовать вторичную светопередачу после точки, когда добавлена кислота или окислитель, чтобы определить, верно ли химическое вещество было введено, так как оно делает прозрачным травильный раствор, если оно верно. Если нет — изменить реагент.

Главное отличие ручного тестирования и автоматической системы Vis-U-Etch 5 в том, что система контролирует травильный раствор непрерывно, в то время как человек проводил бы отбор проб травильного раствора через определенные и довольно длительные промежутки времени. Результат — непостоянство во времени состава травильного раствора, являющееся причиной нестабильности системы — скорости травления и величины бокового подтравливания.

На рис. 5а, б, в показаны результаты травления меди толщиной 35 мкм с использованием системы Vis-U-Etch 5 при 0,04N.

На рис. 5г, д, е — результаты, полученные с помощью системы контроля «ОВП/нормальность» при использовании окислителя

Таблица 1

Контроллер	Vis-U-Etch 5	ОВП контроллер/окислитель на основе хлората натрия	ОВП контроллер/перекись водорода
Метод контроля	Светопередача	ОВП/нормальность	ОВП / нормальность
Установка травления	Chemcut	Chemcut	Другая
Модель установки	547	547XL	Rotary
Год производства установки травления	1988	1997	1994/95
Камеры травления Количество×длина	2×1 м	2×1 м	2×1,5 м
Давление (бар) Верхнее: Нижнее:	1 кам. – 1,5; 2 кам. – 0,75 1 кам. – 1,3; 2 кам. – 1,0	2,7 2,7	2,0 0,7
Окислитель	GW-LCR**	Cu-Ox 310**	H ₂ O ₂
Скорость конвейера (35 мкм, м/мин)	1,4	1	1,5
Скорость конвейера (17 мкм, дюйм/мин)	2,3	1,5	1,5 (первая камера отключена)
Содержание меди в травильном растворе (г/л)	180	170	120
Нормальность	0,04	1,04	2,64–3,2
Плотность	1,40	нет данных	1,26
ОВП (мВ)	не применялся	508	515
Результаты	медь 35 мкм, проводник/зазор 100 мкм	медь 17 мкм, проводник/зазор 100 мкм	медь 17 мкм, проводник/зазор 100 мкм
Комментарии	Получены проводники шириной 100 мкм с постоянными характеристиками по всей тестируемой заготовке. Боковое подтравливание 10–13 мкм	Стабильные результаты тестирования сечений проводников по всей поверхности заготовки. Ширина проводников 100–103 мкм, боковое подтравливание около 25 мкм. Производитель осуществляет чрезвычайно точный контроль нормальности. Многочисленные случаи выделения хлора на предприятии.	Получены проводники шириной 97–98 мкм в основании вследствие агрессивности травителя, ширина проводников по поверхности заготовки нестабильна. В силу подтравливания разница ширины проводников в основании и на вершине около 25–26 мкм.

Все тесты проведены компанией Great Western Chemical Company.

Данные по величине бокового подтравливания приведены в сумме на обе стороны ширины проводника.

на основе хлората натрия при 1,0N для травления меди толщиной 17 мкм.

На рис. 5ж, з, и — результаты, полученные с помощью системы контроля «ОВП/нормальность» при использовании перекиси водорода при 2,6N–3,2N для травления меди толщиной 17 мкм.

В таблице 1 приведены основные параметры проведенных тестов.

Помимо очевидных различий в качестве торцов проводников на этих фотографиях, важно понять, что для системы Vis-U-Etch 5 травление осуществлялось на меди толщиной 35 мкм, тогда как два других теста — на меди толщиной 17 мкм. Даже при травлении более тонкого слоя меди системы «ОВП/нормальность» показали результаты хуже, чем Vis-U-Etch 5, что позволяет убедиться в зависимости качества травления от содержания свободной кислоты.

Когда травление регулируется контроллером на основе измерения «электропроводность/ОВП», измеряется электропроводность травильного раствора, а кислота добавляется до тех пор, пока значение не упадет до требуемого уровня. Проблема здесь в том, что, падая, электропроводность доходит до некой точки, ниже которой опуститься не может — это базовая электропроводность, соответствующая концентрации свободной кислоты приблизительно 3% (по объему) травильного раствора. Это означает, что происходит распыление по поверхности платы не только хлорида меди (II), но и кислоты. Фактически, контроллер

** Торговые марки реагентов.

на основе измерения «электропроводность/ОВП» физически не способен регулироваться в интервале, в котором травление панелей происходит наилучшим образом, с наилучшей равномерностью, в безопасных для окружающей среды условиях и с наиболее надежным в управлении контроллером.

Еще одна проблема с контроллером «электропроводности/ОВП» — надежность ОВП-датчика как такового. Датчики электропроводности являются сегодня неконтактными — тороидальной разновидности, что делает их надежными, однако ОВП-датчики должны вступать в контакт с травильным реагентом, то есть они медленно начинают умирать с момента первого их использования. Это означает, что датчики должны регулярно очищаться, тестироваться и перекалибровываться для выполнения надлежащей задачи. Иначе они дадут неверные показания, указав на необходимость в окислителе, когда тот будет не нужен.

В системе со светопередачей количество свободной кислоты составляет в среднем 0,01N и не увеличивается до 0,04N, так как световые элементы не могут функционировать иначе. По надежности световые элементы сравнимы с тороидальными датчиками электропроводности, так как чувствительная ячейка изготовлена из особого стекла, не изменяющего своих свойств при контакте с травильным раствором, а источник света и противостоящий датчик находятся на внешней стороне стекла. Поэтому последующая перекалибровка не потребуется.

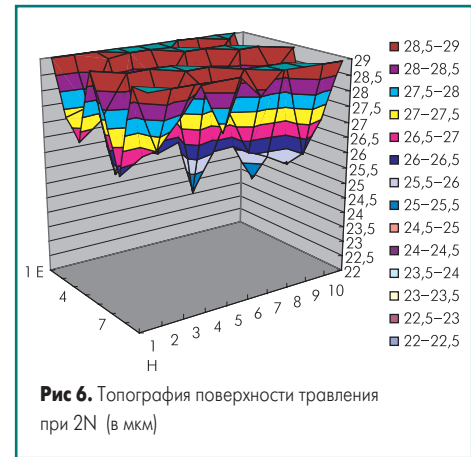


Рис. 6. Топография поверхности травления при 2N (в мкм)

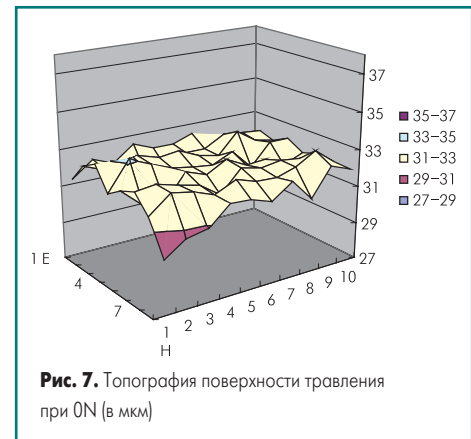


Рис. 7. Топография поверхности травления при 0N (в мкм)

Технологам-производственникам трудно поверить, насколько стабилен раствор травления при отсутствии в нем избыточных реагентов. Недавно компанией Oxford V.U.E. был осуществлена замена системы, характеризовавшейся высоким содержанием кислоты, в которой в качестве окислителя использовалась H₂O₂, а контроль осуществлялся путем измерения «ОВП/нормальности», на систему с низким содержанием кислоты и окислителем NaClO₃. Технолог считал контроль, осуществлявшийся старой системой при среднем значении ОВП 530–580 мВ и частыми скачками до 700–1000 мВ, хорошим. После перехода на систему Vis-U-Etch 5, значение ОВП находилось в пределах 580–585 мВ в течение двенадцатичасового тестового периода. Отсутствие несвязанной кислоты в растворе травления не вызвало характерного запаха хлора или соляной кислоты. При отсутствии свободной кислоты значение ОВП может достигать 680–700 мВ, прежде чем произойдет какой бы то ни было выброс хлора в атмосферу. Поэтому система Vis-U-Etch 5 обеспечивает максимальную стабильность и безопасность процесса травления. Атмосфера в помещении, где производится травление, становится менее агрессивной, что приводит к увеличению срока эксплуатации оборудования и повышению безопасности персонала. Высочайшая стабильность обеспечивает также возможность травления тонких проводников с неизменно высоким качеством.

«Нулевое» содержание свободной кислоты — это не все, что вносит вклад в достижение высокого качества травления. Важную роль играют параметры процесса и конфигурация установок травления.

Оптимальная конфигурация установок травления при высоком содержании свободной кислоты и ее отсутствии

Процесс травления меди с заготовок занимает определенное время. Скорость травления предсказуема при использовании одного травильного раствора при одних и тех же условиях эксплуатации. В идеале травление должно происходить только непосредственно прямо под распылительной форсункой в конвейерной установке травления, так как при таком типе травления происходит только в направлении вниз, но не в стороны. В системе на основе хлорида меди с нулевым содержанием свободной кислоты, такой как Vis-U-Etch 5, эта задача облегчается, так как при контакте незащищенной меди с раствором травления, поступающим из форсунок, медь переходит в CuCl , образуемая «лузичка» CuCl удаляется с подвергаемого травлению материала, и при этом дальнейшего травления в стороны не происходит. Это приводит к достижению превосходного качества благодаря минимизации бокового травления. Для систем с высоким содержанием кислоты эта задача значительно усложняется, ведь при избытке кислоты происходит регенерация CuCl в CuCl_2 в объеме травильного раствора на поверхности подвергаемого травлению материала, включая пространство между проводниками. При такой регенерации происходит бесконтрольное, бесконтрольное травление, направленное как вниз, так и в стороны. Именно в силу этого бесконтрольного травления достижение минимальной ширины проводников и зазоров ограничено, а стенки получаемых проводников оказываются неровными и волнистыми. Понимание механизма процесса травления с помощью выбранного раствора должно быть определяющим при конструировании камеры травления.

Для систем на основе хлорида меди с высоким содержанием свободной кислоты оптимальными параметрами будут: большое число форсунок с плоским факелом распыла, производительностью около 1,9 л/мин, горизонтальный возвратно-поступательный тип осцилляции форсунок, давление около 1 бар, а также компенсация кислотного подтравливания за счет фотошаблона.

Пояснения:

- Форсунки. Чем больше их число, тем большее количество травильного раствора будет распыляться в направлении вниз. Распыление через форсунки с плоским факелом осуществляется под углом, наиболее близком к требуемому углу 90° по отношению к поверхности травления. Производительность 1,9 л/мин призвана ограничить объем излишнего раствора травления, распыляемого на материал. При более высоком объеме подаваемого травителя происходит дополнительное неконтролируемое боковое травление вследствие регенерации избыточной кислотой.
- Горизонтальная возвратно-поступательная осцилляция сохраняет угол распыла

постоянным, близким к 90° по отношению к травимому материалу, в отличие от «качающегося» типа осцилляции, осуществляемого по дуге, что приводит к диагональному распылению, увеличивающему боковое травление.

- Давление 1 бар: это требование очень тесно связано с производительностью форсунок 1,9 л/мин. Излишнее давление или объем травителя нежелательны, так как избыточный поток травителя с кислотой под большим давлением будет удалять с поверхности стенок проводников хлорид меди (I), защищающий их от травления в стороны.
 - Компенсация за счет фотошаблона: в силу того, что системам с высокой концентрацией свободной кислоты свойственно повышенное боковое травление, ширина проводников из травильного резиста должна быть увеличена во избежание чрезмерного перетравливания.
- Для систем на основе хлорида меди с нулевой концентрацией свободной кислоты оптимальными параметрами будут: большое число форсунок с плоским факелом распыла, производительность около 5,7 л/мин, горизонтальный возвратно-поступательный тип осцилляции, давление около 3 бар, компенсация кислотного подтравливания за счет фотошаблона не требуется для материала толщиной менее 70 мкм.

Пояснения:

- Форсунки: подобно системам с высокой концентрацией свободной кислоты, большее число форсунок обеспечивает распыление большего количества травильного раствора в вертикальном направлении, а форсунки с плоским факелом делают возможным распыление под углом, наиболее близком к 90° . Тем не менее, необходима установка форсунок производительностью 5,7 л/мин для распыления большого объема раствора травления, так как без избыточной кислоты дополнительного неконтролируемого бокового травления вследствие регенерации не происходит.
- Горизонтальная возвратно-поступательная осцилляция необходима по той же причине, что и в системах с высокой концентрацией свободной кислоты. Благодаря ей поддерживается постоянный угол распыления 90° .
- Давление 3 бар: это требование тесно связано с производительностью форсунок 5,7 л/мин. При отсутствии избыточной свободной кислоты необходимо более высокое давление и объем поступающего травителя для травления в направлении вниз. Бокового травления не происходит, поскольку нет избытка кислоты. Следовательно, подача травильного раствора может осуществляться под большим давлением и в большем объеме без возникновения проблем с качеством, вызываемых подтравливанием в присутствии свободной кислоты.
- Компенсация за счет фотошаблона: поскольку кислотного подтравливания

не происходит, нет необходимости увеличивать ширину травильного резиста во избежание чрезмерного травления на верхней поверхности проводников до завершения травления в промежутках между ними, если толщина меди не превышает 70 мкм. В любом случае, компенсация за счет фотошаблона значительно сокращается.

Хотя системы как с высокой концентрацией свободной кислоты, так и с нулевой концентрацией, могут быть оптимизированы для достижения наилучшей производительности, системы с нулевой концентрацией всегда обладают преимуществом в качестве, так как для них не характерен основной недостаток первых — кислотное подтравливание. При этом даже не рассматриваются другие негативные стороны, такие как низкая стабильность растворов травления с высокой концентрацией свободной кислоты и плохие условия окружающей среды.

Некоторые технологи могут предположить, что при использовании системы Vis-U-Etch им придется пожертвовать скоростью травления для достижения качества. Но основным фактором, влияющим на скорость травления, является правильная конструкция установки травления.

Обзор установок травления

Один из ведущих дистрибьюторов Oxford V.U.E. на западе США — компания Circuit Research Corporation приняла участие в сборе информации и создании сводной таблицы, демонстрирующей влияние нормальности, плотности распределения форсунок и давления распыления на скорость травления (см. табл. 2).

Важно отметить, что в данной таблице не представлены результаты тестирования всех моделей оборудования каждого из производителей, так же, как и не отражен срок эксплуатации используемых установок травления. Не ставилась цель рекламировать ту или иную марку оборудования. Установки травления, включенные в данный обзор, могут существовать в различных конфигурациях, с различными спецификациями и характеризоваться различной производительностью. Цель данной таблицы — показать читателю, как различные характеристики каждой из установок влияют на скорость травления.

Первое, что привлекает внимание — это скорость для однометровой секции, так как это наглядный показатель скорости травления установки в целом. Но это не показатель качества травления. После детального сравнения быстрых и медленных установок мы отмечаем, что показатели нормальности расположены в таблице без определенного порядка и некоторые из наименьших значений нормальности оказались внизу списка, поскольку относятся к наиболее медленным установкам. Адекватную картину представляют плотность распределения форсунок и давление распыления.

Как можно видеть из представленных данных, установки травления, характеризующи-

Таблица 2

Производитель оборудования	Длина камеры травления (м)	Скорость, медь 35 мкм (м/мин)	Средняя скорость, медь 35 мкм (на 1 м)	Тип травителя/метод контроля	Нормальность	Тип форсунок	Количество форсунок (на 1,22 м)	Давление (бар)	Тип осцилляции
IPS/WTA	2,44	1,70	0,69	Хлорат натрия/Vis-U-Etch 5	< 0,04N	Плоский факел	81	3,0 сверху/ 2,7 снизу	Возвратно-поступательное
Schmid	5,18	3,30	0,63	Хлорат натрия/ОВП	2,0–2,2N	Плоский	130	3,0/2,7	Возвратно-поступательное
ACS	5,48	3,04	0,55	Хлорат натрия/ОВП	1,5N	Конусообр.	55	3,2/1,8	По дуге
IS	2,00	1,09	0,54	Хлорат натрия/Vis-U-Etch 5	<0,04N	Плоский	134	3,0/2,6	Отсутствует
Chemcut	3,65	1,87	0,51	Хлорат натрия/Vis-U-Etch 5	0,06N	Конусообр.	70	2,4/2,1	По дуге
Chemcut	6,09	3,04	0,50	Хлорат натрия/ОВП	2,0N	Конусообр.	98	2,1/2,1	По дуге
Chemcut	2,44	1,22	0,50	H ₂ O ₂ /ОВП	3,05–3,45N	Нет данных	нет данных	2,0/2,0	По дуге
Chemcut	4,87	2,28	0,47	Хлорат натрия/ОВП	1,5N	Конусообр.	70	2,4/2,4	По дуге
Chemcut	4,87	2,28	0,47	Хлорат натрия/ОВП	2,0N	Конусообр.	70	2,7/2,6	По дуге
IS	2,74	1,22	0,44	Хлорат натрия/ОВП	1,4N	Конусообр.	55	2,8/1,6	Отсутствует
Chemcut	3,65	1,60	0,44	Хлор/ОВП	1,2–1,4N	Конусообр.	56	2,0/2,0	По дуге
Hollmuller	2,80	1,22	0,43	Хлорат натрия/Vis-U-Etch 5	1,8N	Плоский	163	2,0/1,9	Возвратно-поступательное
ACS	3,65	1,57	0,43	Хлор/ОВП	2,0N	Конусообр.	55	2,0/4,0	По дуге 40 в мин
Snic	7,31	3,10	0,42	Хлорат натрия/Vis-U-Etch 5	0,06N	Плоский/ Конусообр.	56	1,0–1,3/ 1,0–1,3	Сверху: возвратно-поступательное; снизу: отсутствует
Chemcut 547	3,65	1,52	0,41	Хлор/ОВП	2,0–2,1N	Конусообр.	70	2,3/1,5	Нет данных
Hyoki	3,65	1,52	0,41	H ₂ O ₂ /ОВП	3,05–3,45N	Нет данных	нет данных	2,0/2,0	По кругу
Chemcut	4,87	1,83	0,37	Хлорат натрия/ОВП	2,0–2,5N	Конусообр.	56	1,9–2,0/ 1,9–2,0	По дуге
Chemcut	2,44	0,78	0,32	Хлорат натрия/ОВП	1,5–2,0N	Конусообр.	56	2,3/2,3	По дуге

Пояснения к таблице:

Колонка 3: Средняя скорость конвейера при травлении заготовок с толщиной меди 35 мкм до полного стравливания.

Колонка 4: Средняя скорость конвейера при травлении заготовок с толщиной меди 35 мкм до полного стравливания в модуле длиной 1 метр. Это позволяет лучше сравнить установки травления путем сравнения их скоростей в пересчете на однометровую секцию, так как длина камер травления этих установок различна. Больше число означает большую скорость травления.

Колонка 5: Тип используемого окислителя (хлорат натрия, перекись водорода, газообразный хлор) и используемая система контроля (Vis-U-Etch 5 либо ОВП/нормальность).

Колонка 6: Установленное в процессе тестирования содержание свободной кислоты в используемом растворе травления (нормальность, N).

Колонка 7: Тип применяемых форсунок (плоский или конусообразный факел распыления).

Колонка 8: Число форсунок на 4-футовую (1,22 м) длину камеры, сверху и снизу.

Колонка 9: Давление распыления по показаниям шкал манометров для верхних и нижних форсунок.

Колонка 10: Тип осцилляции: горизонтальная возвратно-поступательная, по дуге (качание над/под заготовками) либо по кругу (форсунки вращаются по кругу над/под заготовками, обеспечивая контакт струй с заготовками под углом 90°).



Электронная секция

Химическая секция

Блок управления

Рис. 8

еся максимальным давлением распыления, обычно обладают более высокой скоростью травления, так же, как и установки с большим числом форсунок. Важно также отметить, что применение большого числа форсунок при низком давлении распыления дает в результате невысокую скорость травления (установка Hollmuller), в то время как эффект от использования меньшего числа форсунок, но при высоком давлении на верхней стороне заготовок все же ощутимее (установка ACS).

Что касается нормальности... Если бы содержание свободной кислоты действительно влияло на скорость травления, все пять протестированных установок с системой Vis-U-Etch 5 оказались бы в самом низу списка. На самом деле, установка с контроллером Vis-U-Etch 5 при нормальности 0,06N была пятой по скорости даже при том факте, что число форсунок, которым она снабжена, на 46% меньше, а верхнее и нижнее давление на 20% меньше, чем у самой быстрой установки травления (без системы Vis-U-Etch 5).

Взгляд на самую медленную установку с контроллером Vis-U-Etch 5 обнаруживает истинную причину низкой производительности: слишком малое число форсунок и чрезвычайно низкое давление распыления.

Конструкция Vis-U-Etch 5

Система контроля Vis-U-Etch 5 состоит из трех основных модулей: электронного, химического и блока управления, которые закреплены на стене рядом с установкой травления (рис. 8).

Химическая секция устанавливается рядом с установкой травления для точности и скорости действия регенерации, в то время как электронная секция может быть установлена на расстоянии до 3 м, где нет агрессивной атмосферы, способствующей коррозии, но в зоне необходимой видимости. Электронная секция имеет прозрачную фронтальную сторону из ПВХ, обеспечивающую текущий контроль индикаторов без необходимости ее открывания.

Применение дополнительного компьютера позволяет осуществлять статистический контроль (SPC) расхода химикатов. SPC-функция может быть также использована для дистанционного мониторинга несколькими компьютерами во внутренней сети посредством стандартного веб-браузера. Автоматически контролируемая система расхода обеспечивает максимальную надежность, а современная система оповещения при нарушениях подачи химикатов и защитный выключатель обеспечивают максимальную безопасность работы. Высококачественная герметизация гарантирует обслуживание в течение многих лет без ремонта.

Секция химикатов расширяема для любых объемов травления. Для управления подачей химикатов используется давление от установки травления, поэтому нет необходимости в приобретении дорогих дополнительных насосов.

Так как при введении корректирующих реактивов происходит увеличение объема травильного раствора, излишки объема сливаются через ограничитель уровня в емкость для сбора отработанного раствора, концентрация меди в котором составляет 200 г/л и более. Утилизировать такие концентрированные растворы проще, а уменьшение объема отработанных растворов снижает затраты на их транспортировку.

Возможно оснащение травильной камеры змеевиком-конденсатором для предотвращения потерь воды при испарении. Большие потери воды на испарение происходят на установках, которые ранее работали на системе «ОВП/ нормальность», где устанавливалась мощная вытяжная вентиляция во избежание скопления газообразного хлора внутри травильной камеры. В случае работы с Vis-U-Etch 5 мощность вытяжной вентиляции минимальна, и система может работать без специального контроллера плотности раствора (Baume Limiter***), так как потребность в воде сократится в несколько раз.

У системы контроля и регенерации хлорида меди, основанной на светопрозрачности, реализованной в контроллере Vis-U-Etch 5, имеются следующие преимущества:

- Метод светопрозрачности не требует перекалибровки, как в других системах, использующих окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), нормальность (N) и удельный вес.

- Стеклопленочные фотоэлементы чувствительны до накопления 250 г меди на литр травильного раствора.
- Способность работать при высоком содержании меди позволяет достигать высокой скорости травления — точка брейк-поинта достигает 60 с для меди 35 мкм и зависит от типа травильного раствора.
- Высокое содержание меди означает более полное использование травильного раствора и меньшее количество отходов.
- Более высокий показатель травления, чем при аммиачном травлении, позволяет травить тонкие проводники при более низких затратах.
- Более высокий показатель травления по сравнению с другими контроллерами кислых травильных растворов.
- Жесткий контроль травильного раствора обеспечивает отсутствие свободной кислоты, что означает отсутствие выделения газообразного хлора и запаха от раствора, а также безопасность для окружающей среды и оборудования.
- Минимальные затраты на травление, так как используются недорогие и легко доступные химикаты.
- Стабильность параметров процесса.
- Самоконтроль ошибок (в виде датчиков возможного выхода из строя некоторых ЗИП) снижает процент брака в производстве.

- Максимальная безопасность работы.

В заключение хотелось бы вернуться к главной теме статьи — качеству травления — важнейшему фактору, определяющему возможности производства, то есть классу точности производимых печатных плат. Без особых усилий и при использовании обычного оборудования ширина проводников и расстояний между ними до 6 mil (150 мкм) могут быть легко выполнены с применением растворов травления на основе хлорида меди (II). При использовании в комплексе с системой Vis-U-Etch 5 коллимированных источников света (для получения рисунка платы), большого количества форсунок, осцилляции форсунок, обеспечивающей наиболее близкое к вертикальному направлению распыления, а также высокого давления распыления как при проявлении фоторезиста, так и при травлении меди, ширина проводников и расстояние между ними в 1 mil (25 мкм) могут быть легко достигнуты.

В России пока еще нет ни одного предприятия, использующего систему Vis-U-Etch 5. За рубежом успешно работают с контроллерами на основе оптического метода контроля более 70 компаний.

Статья скомпонована и написана на основе переводов материалов статей компании Oxford V.U.E. Материалы и технические данные предоставлены Филом Кулповичем, президентом компании Oxford V.U.E.

***Baume Limiter — контроллер плотности (удельного веса) травильного раствора, осуществляющий непрерывный контроль.

Поставляется компанией Oxford V.U.E. специально только для системы Vis-U-Etch 5 с оптическим контролем.