



УДК 621.9.047

О ПРОБЛЕМЕ БОКОВОГО ПОДТРАВЛИВАНИЯ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ГРАВИРОВАНИИ

Глебов В.В.

ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», Шахты,
e-mail: glebovdon@mail.ru

Несколько недостатков химической гравюры могут быть преодолены, если заменить ее на электрохимическую гравюру. Это касается и бокового подтравливания, поскольку процесс химического травления является изотропным. Процесс травления происходит не только в перпендикулярном направлении к поверхности, но и в боковом направлении. Боковое подтравливание можно уменьшить путем оптимизации состава электролита, а также с помощью специального оборудования и режимов обработки. Но даже когда используются специальное оборудование и технологические приемы, а также специальные добавки, типа «banking agents», боковое подтравливание полностью не устранено. Проведен анализ технических особенностей и результатов различных процессов.

Ключевые слова: боковое подтравливание, химическое травление, электрохимическое гравирование, электрохимическое маркирование, платы печатного монтажа

ABOUT A PROBLEM ETCH FACTOR AT CHEMICAL AND ELECTROCHEMICAL ENGRAVING

Glebov V.V.

The South Russia State University of Economics and Service, Shakhty, e-mail: glebovdon@mail.ru

Several drawbacks of chemical etching can be overcome by substituting electrochemical etching. As for etch undercut, one must recognize that the wet etching is isotropic. Etch undercut is a result of the fact that the etching is not only normal to the workpiece, but will etch sideways as well as downwards. The etch factor can be reduced by optimisation of composition of an electrolyte, and also by means of the special equipment and machining regimes. But even when process adjustments and equipment are implemented, and also special additives as «banking agents» are used, the etch undercut is not completely eliminated. Some technical characteristics of the process were also investigated and compared.

Keywords: etch factor, chemical etching, electrochemical engraving, electrochemical marking, printed circuit board

Одной из фундаментальных проблем химического и электрохимического гравирования (ЭХГ) является проблема бокового подтравливания (БП, *etch factor*, *etch undercut*, *side etch*, *underetching*). Решение этой проблемы актуально для производства плат печатного монтажа (ППМ), маркирования изделий, получения рельефных фотографий электролитическим методом, изготовления глубоких и высоких форм печати, металлических клише, неглубоких пресс-форм, значков, перфорированных сеток и других рельефных металлоизделий [1, 4, 8]. Проблема заключается в изотропном характере процесса химического травления (рисунк), в том смысле, что при отсутствии внешних сил движение ионов в глубине раствора является хаотичным, а в приграничных фазовых областях характер движения ионов определяется соответствующим концентрационным и конвективным полем. Поэтому при химическом гравировании через трафарет процесс травления материала происходит не только ортогонально к поверхности, но и в направлении уширения формируемых выемок (под трафарет). Поперечный срез травления траншеи или отверстия через трафарет в первом приближении имеет трапециевидную форму. Угол подрезания Q

при химическом травлении обычно имеет значение, близкое к 45° [8].

Куикен [10] на основе математического моделирования получил аналитические выражения для движения границы зоны химического травления через отверстия в трафарете и показал, что без активирующих факторов (перемешивание и др.) травление протекает более интенсивно в гранях углублений, чем в центре, что, помимо БП, приводит также к известным эффектам выпуклости в центре формируемого отверстия. Причиной этого является диффузионный характер движения жидкости, при котором интенсивно оmyваются грани выемки, а в центре образуется застойная область.

Исследования по совершенствованию и оптимизации методик выбора составов электролитов и режимов обработки химического и электрохимического гравирования продолжают как в теоретическом, так и в экспериментальном плане. Существенное уменьшение БП достигается при добавлении к травильному раствору ПАВ со специфическим ингибиторным действием. В англоязычной научной литературе такие добавки получили название «banking agents» [9, 12]. Действие таких добавок в определенном смысле противоположно

действию выравнивающих добавок (levelers additives). Дословный перевод профессионального термина «banking agents» на русский язык звучал бы как «штабелюющие (или окучивающие) вещества». В отечественной научной литературе, например, по травлению ППМ, для таких добавок используют выражения типа «добавки, способствующие уменьшению БП». Эмпирически установлено, что добавление в травильный раствор некоторых органических соединений (аминотриазол, мочевины, амиды и др.) приводит к преимущественной адсорбции этих молекул на боковых поверхностях, что ингибирует их растворение. Например, при травлении ППМ в растворе, содержащем 1 М CuCl_2 и 3,3 – 10 М моноэтаноламина, в работе [12] получен профиль углубления с фактором БП (h/s , рисунок) больше трех. Для сравнения, в аммиачном медно-хлоридном растворе этот фактор меньше двух.

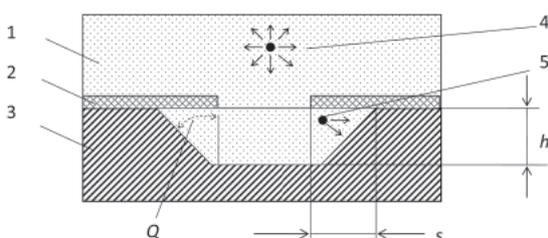


Схема формы углублений при химическом травлении поверхности через трафарет: 1 – травильный раствор; 2 – трафарет; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – ион окислителя в глубине раствора и возможные направления его движения; 5 – ион окислителя в зоне бокового подтравливания и предпочтительные направления его движения; Q – угол подрезания; s – величина подтравливания; h – глубина травления

Уменьшение БП достигается также при использовании струйной обработки, ультразвука, перемешивания и барботажного электролита. Для повышения анизотропности травления применяют также другие методы направленного воздействия, например, «центробежную гравюру» [7], при которой пластины для травления вместе с FeCl_3 раствором вращаются с частотой 6000 об./мин, создавая нормальное давление на медный ламинат до 600г.

ЭХГ по природе своей имеет анизотропную составляющую, выделенное направление задается силовыми линиями электрического поля. Если обработка плоской поверхности осуществляется точечным электрод-инструментом (ЭИ), то максимальная плотность тока будет на кратчайшем расстоянии, т.е. ортогонально. В точках, из которых ЭИ виден под углом 45° , плотность тока, в идеальном случае, будет

примерно в 1,4 раза меньше. Очевидно, что только этого не достаточно для существенного уменьшения БП, тем более, что в процессе анодного травления углублений происходит перераспределение плотности тока и концентрационной анодной поляризации. В условиях ЭХГ необходима неравномерность первичного распределения плотности тока не поддается управлению. Для уменьшения БП (или уменьшения уширения линий при бестрафаретном методе) при ЭХГ, как и при химическом травлении, используют добавки ПАВ, методы струйной обработки, наложение внешних полей (ультразвуковых, магнитных, механических, лазерное излучение и т.д.), а также изменяют величину и форму технологического тока.

Наиболее перспективным решением проблемы БП является использование синергетических эффектов, установленных эмпирически в частных случаях, например, за счет совместного применения импульсных реверсивных режимов питания, а также добавления таких ПАВ в электролит, которые при взаимодействии с продуктами электродных реакций создают барьерный слой на гранях формируемых углублений. Эти исследования находятся только в начальной стадии, сообщения о таких эффектах появляются в научной печати [6], однако широкого промышленного применения такие технологии для ЭХГ, судя по всему, пока не нашли.

В работе [5] отмечается, что «путем выбора соответствующей амплитуды и длительности импульсов можно управлять пространственным распределением пассивирующего слоя. Является предпочтительным получение пассивирующего слоя с большей толщиной на боковых поверхностях полученного углубления по сравнению с толщиной пассивирующего слоя на фронтальной поверхности углубления. В этом случае скорость растворения на фронтальной поверхности будет более высокой по сравнению с боковыми поверхностями, что приводит к лучшей точности копирования».

Дикусар А.И. и др. [2] для уменьшения БП предложили метод управления распределением локальных скоростей в микрополости при микро-ЭХГ с использованием анодно-катодной обработки, основанный на преимущественном электроосаждении продуктов растворения в области подтравливания под изоляцией, и определили оптимальные параметры импульсов, обеспечивающие максимально возможное повышение локализации травления. Для прошивки круглых (~ 17 отв./мм²) и прямоугольных (~ 1 отв./мм²) отверстий они



использовали активирующий (1 М NaCl, $pH = 1,0$) или пассивирующий (1 М NaNO₃, $pH = 0,5$) электролит в условиях вращающегося дискового электрода с изолирующей маской толщиной ~ 5 мкм на обрабатываемой детали. В катодном режиме, по мнению авторов [2], скорость осаждения в боковой области больше, чем в основании, из-за особенностей гидродинамики, приводящей к увеличению концентрации ионов растворенного металла в боковой области полости.

Таким образом, в зависимости от производственной задачи и структуры материала обрабатываемых изделий, можно использовать три возможные методики уменьшения БП при ЭХГ:

- эмпирический подбор компонентов электролита;
- изменение технологических параметров обработки (форма технологического тока, температура электролита, гидродинамические параметры течения электролита и др.);
- применение дополнительных анизотропных воздействий на обрабатываемую поверхность (струйная обработка, лазерное воздействие, направленное ультразвуковое, гравитационное, электромагнитное, тепловое и другое воздействие).

Желательный механизм локализации ЭХГ, по нашему мнению, должен состоять в том, чтобы в катодный период происходило осаждение металла на боковых поверхностях углубления, т.е. в местах с большей напряженностью электрического поля, причем это различие должно быть больше, чем для анодного процесса. Однако только такой процесс приведет к увеличению площади обработки, поэтому необходим дополнительный процесс пассивации необработанной поверхности вне области формируемого углубления, т.е. пассивироваться должна область с минимальной напряженностью. При этом адсорбционные свойства пассиватора в процессе ЭХГ должны быть такими, чтобы он не попадал в зону углубления. В этом случае конечный результат будет аналогичен по смыслу (но не по причинам) электрическому пробое в полупроводниках. Иногда такой пробой называют «эффектом шнурования» и заключается он в том, что ток в материале полупроводника течет по узкому каналу, из-за этого там происходит джоулево нагревание, сопротивление канала падает, поэтому поперечное сечение области прохождения тока уменьшается. В результате ток при пробое течет по узкому каналу, причем, необязательно по прямолинейному (типа молнии).

Однако для ЭХГ существуют не только технологические проблемы уменьшения БП, но и экономические. Например, фактически аналогичная проблема в дамасском гальваническом суперзаполнении (superfiling) медью углублений при изготовлении микрочипов решена на производственном уровне [1, 11]. В последнее время появилось много научных работ о суперконформном (superconformal) электроосаждении меди из электролитов, содержащих PEG-SPS-Cl компоненты (полиэтиленгликоль – бис(3-сульфопропил) дисульфид – хлор). Механизм действия этого многокомпонентного электролита не совсем ясен, предложено несколько различных гипотез [11], не вызывает сомнений только большой экономический эффект от применения этого электролита. Также эмпирически решена проблема металлизации сквозных отверстий ППМ [3], хотя теория этого процесса, близкого, по сути, к БП, еще не создана. Эти и другие достижения в электронной промышленности и производстве ППМ, отчасти обусловлены тем, что рынок выпускаемых изделий огромный, поэтому в развитие производства, в том числе на поисковые исследования, вкладываются большие средства. Кроме этого, номенклатура используемых для электрохимической обработки материалов в электронной технике меньше, чем для задач ЭХГ. Поэтому очевидно, что сложность, разнообразие и низкая управляемость электродных, адсорбционных и других межфазных процессов не позволят получить универсальный и идеально анизотропный результат травления, однако уменьшить БП во многих практических задачах представляется возможным.

Проведенный анализ методов уменьшения бокового подтравливания не претендует на решение всей этой сложной технической задачи. Целью этого рассмотрения является выявление существующих здесь проблем и установление возможных направлений экспериментального и теоретического поиска для решения этой задачи. Применительно к ЭХГ в научной литературе этот вопрос практически не рассматривался. Возможно, что синергетический подход позволит установить механизм желательного процесса самоорганизации анизотропного анодного травления.

Список литературы

1. Глебов В.В. Электрохимическое маркирование и травление деталей. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. – 152 с.
2. Макрораспределение скорости анодного растворения на вращающемся дисковом электроде с частично изолированной поверхностью / А.И. Дикусар, О.О. Редко-



зубова, С.П. Ющенко и др. // Электрохимия. – 2003. – Т. 39. – С. 1269–1272.

3. Медведев А. Обновление технологий в российской электронной промышленности // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – № 1. – С. 3–12.

4. Метод получения фотографического изображения с использованием полупроводникового электрода / Ф.И. Кукоз, В.В. Глебов, С.В. Кирсанов, В.В. Коноваленко // Электрохимия. – 1996. – Т. 32. – С. 1144–1145.

5. Патент РФ № 2286234. Способ электрохимической размерной обработки с оптимальной длительностью обрабатываемого импульса / А.Н. Зайцев, С. Безруков, И.Л. Агафонов и др. Опубл. 27.10.06. Бюл. № 30.

6. Патент США № 7022216. Electrolytic etching of metal layers / E.J. Taylor, H. Dyar. Опубл. 04.04.06.

7. Centrifugal Etching: An Experimental Study / R.P. Tjiburg, J.G.M. Ligthart, H.K. Kuiken, J.J. Kelly // Journal of the Electrochemical Society. – 2003. – Vol. 150, № 6. – P. C. 440–C444.

8. Datta M. Microfabrication by electrochemical metal removal // IBM Journal of Research and Development. – 1998. – Vol. 42, № 5. – P. 655–669.

9. Improved shape evolution of copper interconnects prepared by jet-stream etching / T-K Yeh, M-H Tsai, M-Y Wang, C-K Weng // Journal of Applied Electrochemistry – 2008. – Vol. 38. – P. 1495–1500.

10. Kuiken H.K. Etching: A Two-Dimensional Mathematical Approach // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. – 1984. – Vol. 392, № 1802. – P. 199–225.

11. Long J.G., Searson P.C., Vereecken P.M. Electrochemical Characterization of Adsorption-Desorption of the Cuprous-Suppressor-Chloride Complex during Electrodeposition of Copper // Journal of the Electrochemical Society. – 2006. – Vol. 153, № 4. – P. C258–C264.

12. Shih C-W., Wang Y-Y., Wan C-C. Anisotropic copper etching with monoethanolamine-complexed cupric ion solutions // Journal of Applied Electrochemistry. – 2003. – Vol. 33, № 5. – P. 403–410.

Рецензенты:

Марчук В.И., д.т.н., зав. кафедрой РЭС ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», г. Шахты;

Санников Н.И., д.т.н., профессор кафедры физики ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», г. Шахты.

Работа поступила в редакцию 26.04.2011.