

Технология изготовления многовыводных рамок микросхем с применением прецизионной лазерной резки

Сегодня в целях импортозамещения и обеспечения решения новых задач в различных отраслях промышленности возникла необходимость создания новых микросхем и сокращения времени на их промышленное внедрение. Статья посвящена разработке оригинальной технологии оперативного изготовления многовыводных рамок микросхем с помощью лазерной резки для опытных партий изделий ЭКБ, позволяющих проводить необходимый комплекс испытаний в рамках НИР и ОКР.

**Юрий Юдахин,
д. и. н.,
профессор**

yudahin@deyton.ru

Дарья Канарейкина

Юрий Юдахин

Введение

Лазерная резка металлов сегодня успешно применяется в различных отраслях промышленности и продолжает развиваться. Преимуществом лазерной резки является высокая скорость, экономия материала и производительность процесса, незначительная зона термического воздействия, изготовление изделий любой сложности в единичных экземплярах, высокая повторяемость сложных изделий в любых количествах, отсутствие деформации материала. Используя возможности лазерной резки, можно раскрыть по сложному контуру практически любой листовой материал при отсутствии на него механического воздействия [1].

Постановка задачи

Одна из задач, возникающих при разработке технологических процессов изготовления изделий для радиоэлектронной отрасли, — минимизация времени на подготовку опытных образцов с целью проведения комплекса практических испытаний для подтверждения соответствия их проектных параметров реально полученным. Такой подход позволяет обеспечить возможность оперативного внесения корректировок в исходные чертежи в процессе проектирования изделий, а в конечном итоге значительно сократить время на их промышленное внедрение, решить задачу минимизации отказов и уменьшения процента выходного брака готовых изделий ЭКБ [2]. По результатам сравнительного анализа лазерная резка металла имеет много существенных преимуществ по сравнению с другими методами термической резки, которые заключаются в высокой точности и аккуратности, универсальности, скорости и эффективности, бесконтактности процесса и отличаются минимальной зоной термического влияния, сводящей к минимуму тепловые искажения и снижающей риск деформации или обесцвечивания металла [3].

Решение задачи

Решение задачи заключалось в выборе типа лазерно-технологического комплекса, позволяющего наиболее эффективно применять систему управления для оптимизации его параметров, звеньев и оптимального планирования траектории движения лазерного луча на стадии подготовки технологического процесса. В данном случае критерием оптимальности послужило качество деталей после раскроя металла и их соответствие исходным чертежам. Дополнительными, но не менее важными критериями выступали наличие отечественного программного обеспечения и отечественной комплектации лазерно-технологического комплекса, его стоимость, рабочий ресурс, доступность сервисного обслуживания и ремонта [4].

Для выполнения поставленной задачи исследовательская группа остановила свой выбор на волоконно-лазерных станках для резки. Подобные станки обычно используют для генерации лазерного луча оптоволоконный кабель. Волоконные лазеры высокоэффективны и в основном применяются для резки металлов, в том числе и обладающих высокой отражающей способностью, включая медь [5]. Лазерный луч взаимодействует с заготовкой, нагревает и испаряет материал, создавая узкий разрез. Управляемый сфокусированный лазерный луч обеспечивает высокую плотность энергии, что позволяет выполнять точную и контролируемую резку определенной формы. В процессе исследовательской работы особое внимание было уделено минимизации дефектов качества, характерных для процесса лазерной резки металла, таких как:

- формирование заусенцев, возникающих при некорректной проектировке макета;
- изменение свойств материала в зоне термического влияния;
- образование окалины или грат на торце линии реза;
- неровности кромок или полосы;
- изменение цвета металла, выражающееся в обесцвечивании или окислении режущей кромки;

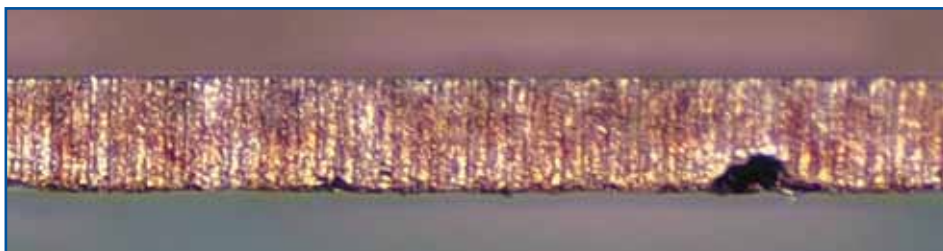


Рис. 1. Торце изделия после резки: а) «МиниМаркер2-М30 А4»; б) RX-150

Таблица. Химический состав меди (в %)

Медь	Свинец	Цинк	Железо	Олово	Висмут	Никель	Сурьма	Мышьяк	Сера	Кислород
99,9	0,005	0,004	0,005	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004	0,05

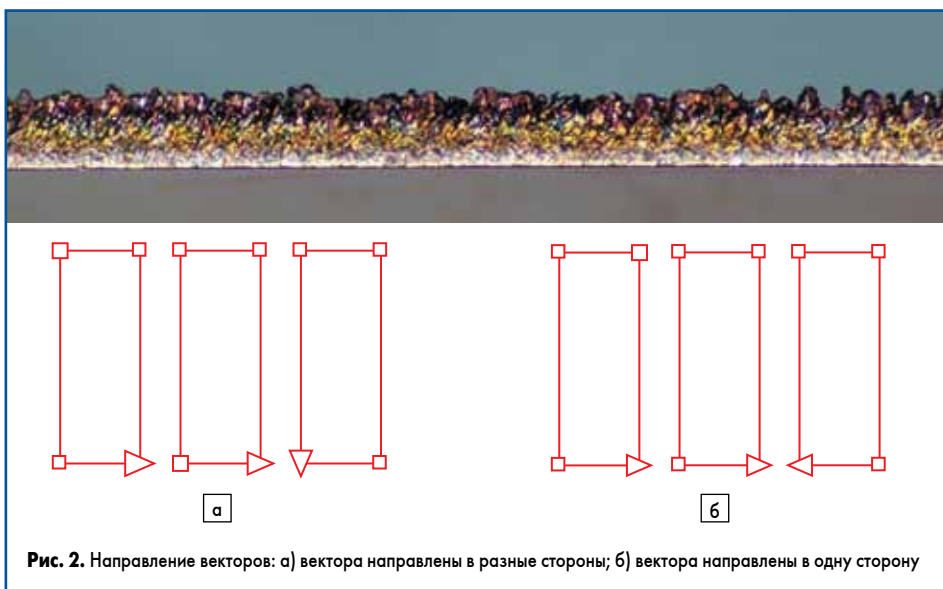


Рис. 2. Направление векторов: а) вектора направлены в разные стороны; б) вектора направлены в одну сторону

- деформация или искажение тонкого металла;
- изменение ширины линии реза [6].

Исходные данные, материалы и оборудование

Целью НИР стала разработка технологии и технических оснасток для лазерной резки для получения опытных образцов многовыводных рамок микросхем, пригодных для размещения кристаллов, их разварки и корпусирования в пластиковые корпуса WB SOIC-8, WB SOIC-16, SOP-20. Подбор оборудования осуществлялся путем получения опытных об-

разцов резки на нескольких системах и их исследование в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук на предмет структурных и химических изменений, произошедших в процессе обработки металла (рис. 1).

Дальнейшее выполнение работы осуществлялось с помощью системы прецизионной лазерной маркировки (СПЛМ) «Мини-Маркер2-30A4 PA» (объектив 110×110 мм, однокоординатный стол) и технических оснасток лазерной резки, разработанных и изготовленных специалистами лаборатории корпусов и корпусной продукции микроэлектроники.

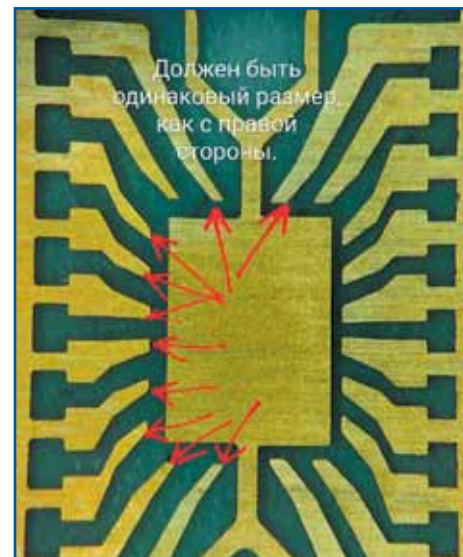


Рис. 3. Отклонение размеров элементов детали

В качестве материала для резки опытных образцов рамок применялась медь марки М1 толщиной 0,155 мм (для WB SOIC 8 и WB SOIC 16), 0,2 мм (для SOP 20). Химический состав меди представлен в таблице.

Подготовка чертежей выполнялась специалистами лаборатории корпусов и корпусной продукции микроэлектроники. В качестве программного обеспечения применялся отечественный софт MaxiGraf. Обрисовка макета производилась таким образом, чтобы вектора были направлены в одну сторону. Например, по часовой или против часовой стрелки для всего макета (рис. 2).

В противном случае происходило отклонение размеров элементов детали от размеров, заданных в макете (рис. 3).

В зависимости от хода линейной оси макет делился на определенное количество гальвополей, как это представлено на рис. 4.

На конечном этапе настройки производилась загрузка макета в MaxiGraf согласно координатам, в векторной программе. Перед запуском программы проводилась настройка последовательности резки элементов, которая выполнялась согласно иерархии в программном обеспечении: сначала внутренний контур, затем внешний контур. Причем программа резки формировалась таким образом,

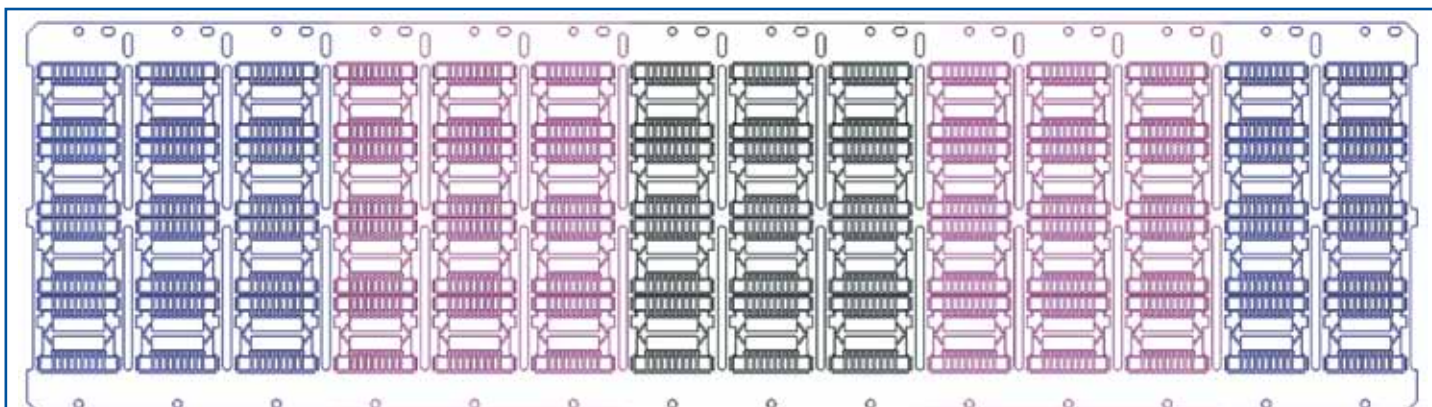


Рис. 4. Разделение макета по гальвополям

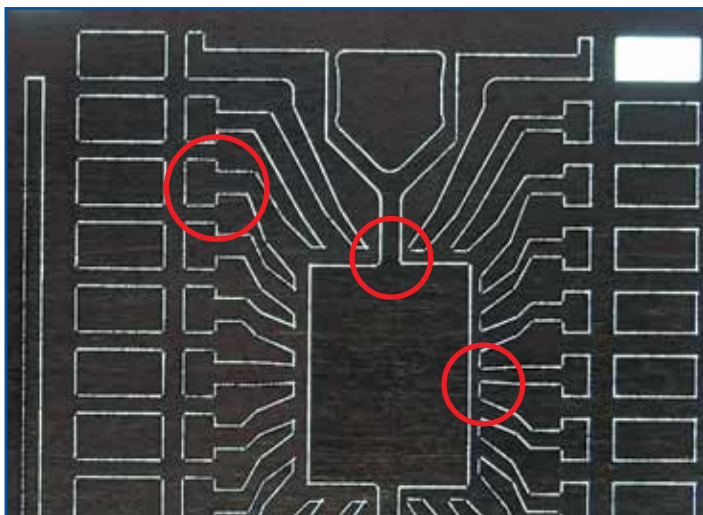


Рис. 5. Области не прорезанных элементов рамки

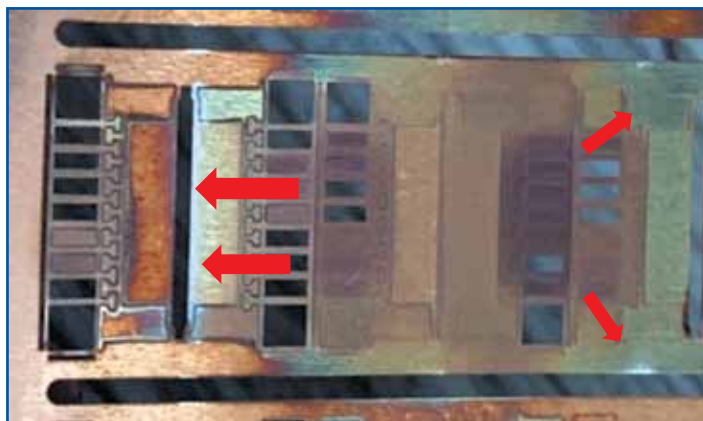


Рис. 6. Места контактов с ламелью отмечены стрелками

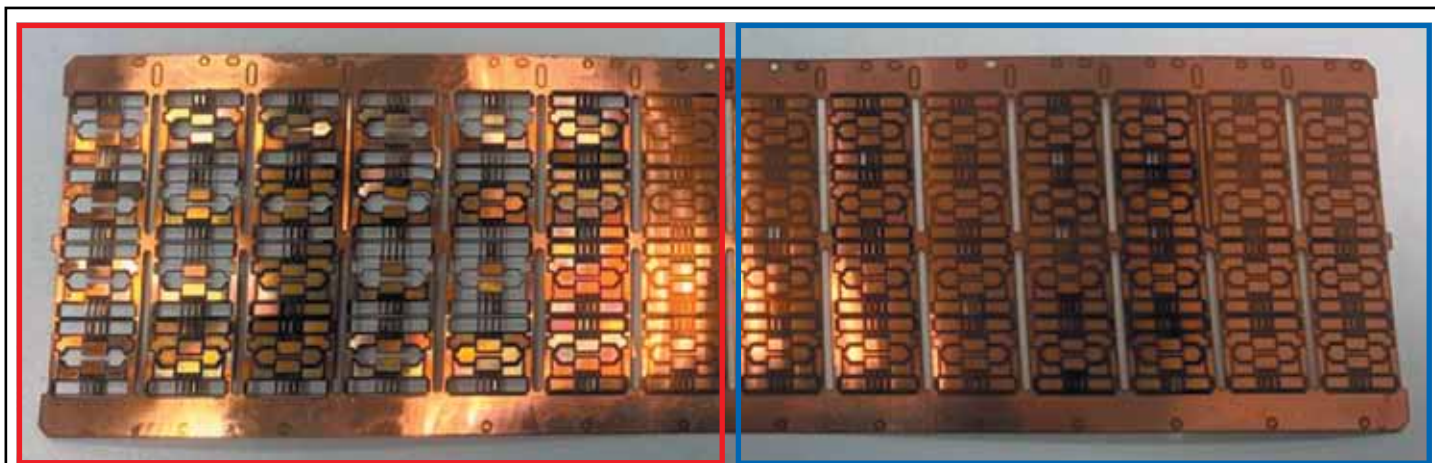


Рис. 7. Перегрев и деформация матрицы при резке с воздушным охлаждением снизу (отмечено красным) и сверху (отмечено синим)

чтобы обеспечить выпадение всех прорезанных элементов. А именно, первые этапы резки проводились с расширенной линией реза, а дальнейшая резка производилась по всему контуру макета, включая не прорезанные участки (рис. 5).

Резка осуществлялась иттербиевым импульсным волоконным IPG Photonics-лазером при длине волны 1,064 мкм, длительности импульсов 50–100 нс, с частотой следования импульсов 50 кГц, выходной мощностью 30 Вт, от 5 до 7 проходов, в зависимости от толщины меди, при максимальной энергии в импульсе 0,7 мДж. При этом время резки одной рамки составило 45–60 с.

В ходе исследований было опробовано несколько вариантов резки. Резка изделий на стандартной оснастке со съемными ламелями и воздушным охлаждением показала, что после данной операции материал ламели осаждается на матрице [7]. Для предотвращения этого необходимо располагать ламели таким образом, чтобы на них опирались участки меди, не подвергающиеся резке (рис. 6).

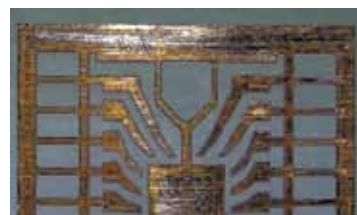
К тому же практика показала, что резку на ламелях с воздушным охлаждением необходимо проводить с существенными временными задержками после каждого прохода

лазерного луча. Задержки должны быть достаточными для охлаждения медной пластины.

В ходе дальнейших исследований выяснилось, что лазерная резка с воздушным охлаждением сверху возможна, однако при высоком давлении воздушного потока необходимо применение подложки в виде ламели. Поддув снизу с применением хладоэлементов не дал должного эффекта для осуществления скоростной резки тонколистового материала, а при высоком давлении воздуха деформировал вырезанные детали (рис. 7).

Для устранения вышерассмотренных дефектов, происходящих при воздушном охлаждении, исследовательской группой была применена резка с водяным охлаждением металла, которая позволила в значительной степени их устранить и получить результаты, удовлетворяющие поставленной задаче [8]. На рис. 8 показано, что водяное охлаждение позволило получать детали без нагара, без изменения цвета материала и имеющие более качественную кромку реза.

С учетом полученных результатов специалистами исследовательской группы была разработана и изготовлена оснастка активного водяного охлаждения с капельной подачей воды для лазерной резки тонколистовой меди (ОЛРВО). Дополнительное охлаждение купели



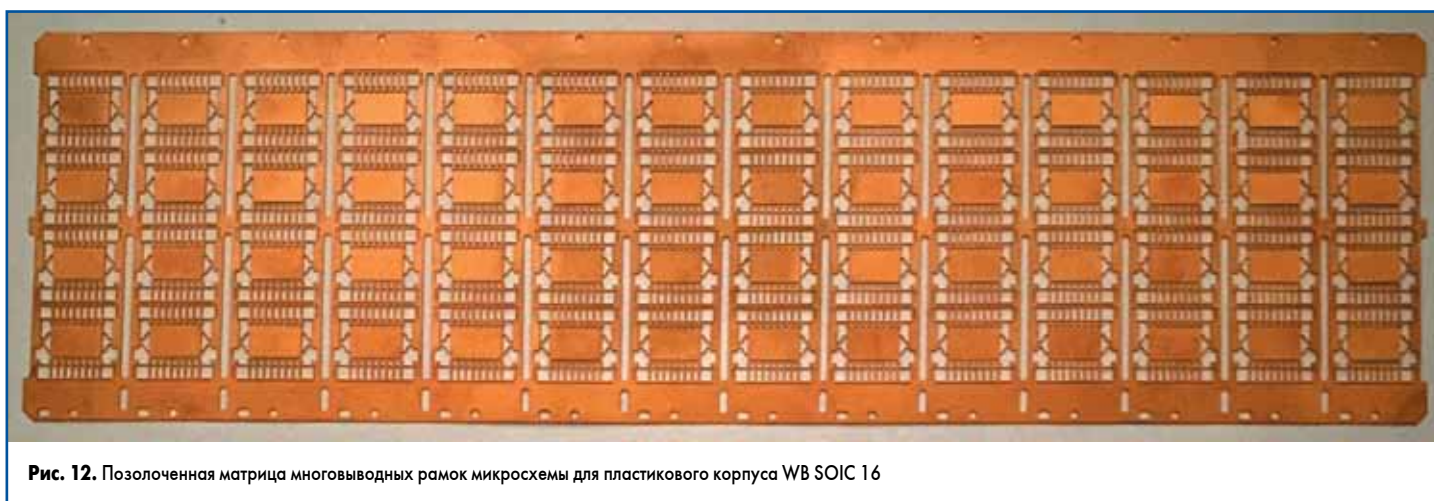
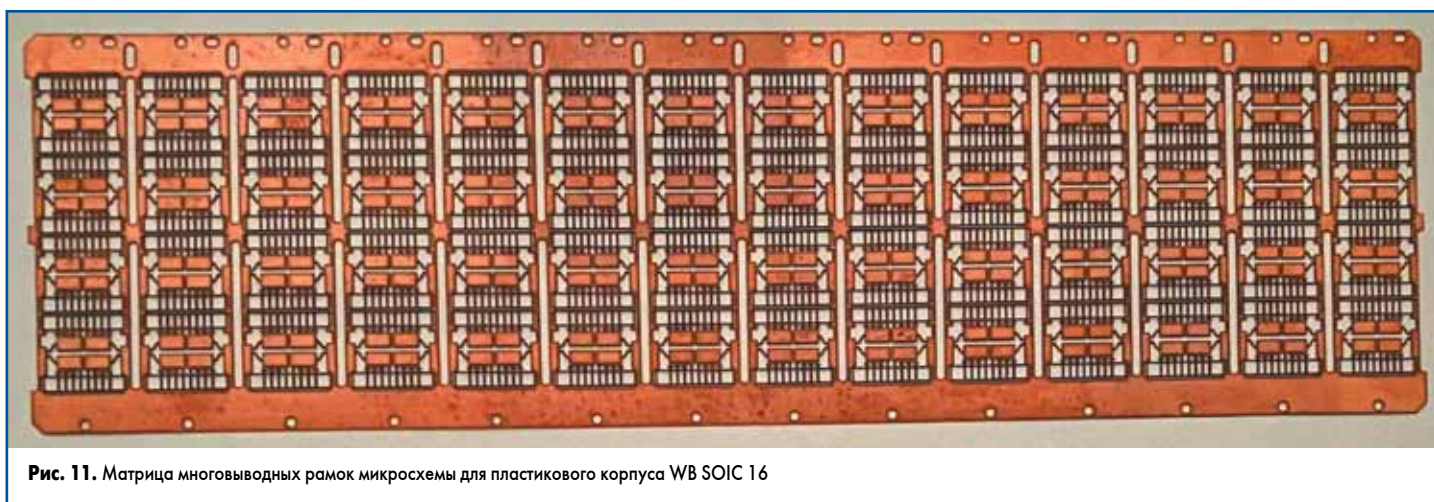
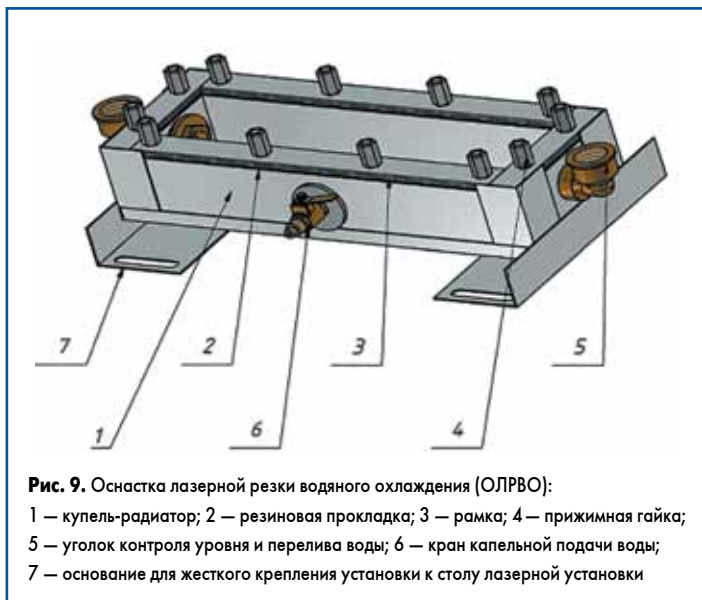
а



б

Рис. 8. Сравнительная фотография двух видов охлаждения:
а) водяное охлаждение; б) воздушное охлаждение

обеспечивалось циркулирующей через охладитель XD-20 водой. Компенсационная подача испаряемой при резке воды обеспечивалась ее капельной подачей в купель. Внешний вид



и устройство базовой модели оснастки на показаны рис. 9.

Применение данной оснастки позволило решить ряд основных проблем. В первую очередь резка с водяным охлаждением, когда нижняя часть медного проката лежит на водном зеркале, позволила избежать воздействия чрезмерного тепла и осуществлялась без критического перегрева материала. Во-вторых, значительное количество испаряемого материала выпадало в осадок, а не осаждалось на поверхности пла-

стины. В-третьих, устройство оснастки позволило равномерно растянуть и зафиксировать материал, предназначенный для резки, тем самым исключить деформации материала, а соответственно, и отклонения ширины реза от заданных параметров. Процесс лазерной резки матриц многовыводных рамок микросхем с применением оснастки активного водяного охлаждения показан на рис. 10.

В ходе опытных резок было изготовлено 70 матриц многовыводных рамок микросхем

различной конфигурации годных для дальнейшего применения (рис. 11).

Полученные изделия подвергались первичной чистке на подложке из войлока и дополнительной термохимической чистке и обезжириванию в ультразвуковой ванне при температуре водного раствора чистящей жидкости Nexxo +50 °С в течение 30 мин [9]. После очистки и обезжиривания полученные изделия подвергались золочению (рис. 12).



Рис. 13. Готовые микросхемы

На завершающем этапе исследований произведено закрепление кристаллов на посадочных площадках рамок, распайка и корпусирование в пластик (рис. 13).

Заключение

В результате разработанной технологии сформулирован ряд алгоритмов действий для подготовки и осуществления лазерной резки матриц многовыводных рамок микросхем.

1. Алгоритм подготовки лазерно-технологического комплекса, включающий преобразование макета технической модели в машиночитаемые инструкции с помощью программного обеспечения, выбор соответствующих настроек лазера, в том числе мощности, скорости и фокуса.

2. Алгоритм подготовки оснастки лазерной резки водяного охлаждения к работе, предусматривающий выравнивание лазерной установки в соответствии с уровнем воды в оснастке, равномерное растяжение материала и обеспечение его полного контакта с водой, настройку скорости капельной подачи воды в купель.

3. Алгоритм проверки качества полученного изделия и его обработки после лазерной резки. Данный алгоритм предусматривает проверку изделия на соответствие требуемым спецификациям и допускам путем сравнения с образцовыми шаблонами, механическую, термохимическую чистку и обезжиривание полученного изделия.

Литература

1. Теоретические основы процесса лазерной резки металлов // Лазерный мир. <https://лазер.пф/2025/01/24/30206/?ysclid=m85uzundrb944005104>
2. Эннс В. Как нам развивать отечественную микроэлектронику: 2023 год. www.dcsouyuz.ru/files/publications/2023/elektronika.ntb_%E2%84%964'2023.pdf?ysclid=m8h1larpez689555828
3. Яшина М. А., Трунова И. Г., Пачурин Г. В., Шевченко С. М. К вопросу использования лазерного оборудования в цехах гибких автоматизированных производств // Между-

народный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12–7. www.applied-research.ru/ru/article/view?id=11033

4. Игнатов А. Г. Российские лазерные технологии: состояние и перспективы применения // РИТМ Машиностроения. www.ritm-magazine.com/ru/public/rossiyskie-lazernye-tehnologii-sostoyanie-i-perspektivy-primeneniya
5. Карпова Т. Волоконные лазеры: революция в обработке материалов // РИТМ Машиностроения. www.ritm-magazine.com/ru/public/volokonnye-lazery-revolyuciya-v-obrabotke-materialov
6. Дефекты при лазерной резке металла: причины появления. www.drd.by/client/articles/defekty-pri-lazernoj-rezke-metalla-prichiny-poyavleniya/?ysclid=m8h3yuspam772219152
7. Повышение эффективности. Воздух как вспомогательный газ при лазерной резке. www.machinemfg.com/ru/application-of-air-in-laser-cutting/
8. Применение машины водяного охлаждения в лазерной резке. www.zblizhiyuan.com/ru/application-of-water-cooling-machine-in-laser-cutting
9. Процесс постобработки после лазерной резки листового металла. www.megasteels.ru/article/proczess-postobrabotki-posle-lazernoj-rezki-listovogo-metalla/?ysclid=m8h3l6mniy446770479