

УДК 621.375.826

ЛАЗЕРНАЯ МИКРООБРАБОТКА В САМОСOPЯЖЕННОЙ СХЕМЕ ПРОЕКЦИОННОГО МИКРОСКОПА

А. С. Аверюшкин, В. Л. Евстигнеев, М. А. Казарян,
А. Н. Лобанов, Н. А. Лябин, Л. А. Погосян

Лазерная прецизионная обработка в настоящее время рассматривается в качестве одного из ведущих методов для создания элементной базы современных микроэлектромеханических систем. Ввиду того, что такие системы обладают обычно сложной пространственной конфигурацией и имеют размеры около 100 мкм и меньше, микрообработка без механических перемещений представляется предпочтительной. Такой процесс реализован в оптической системе с усилителем яркости на основе активного элемента лазера на парах меди. Представлена оригинальная схема, с помощью которой впервые проводилась фигурная резка микродеталей из различных материалов: нержавеющей стали, медь, молибден и неметаллы, при толщине образцов от 13 до 100 мкм.

Одной из самых бурно развивающихся отраслей современного производства является создание микроэлектромеханических систем (МЭМС) и элементов для них. Одним из способов, часто единственным, для создания микродеталей этих механизмов является прецизионная лазерная микрообработка и резка. С каждым годом чаще других для прецизионной обработки микродеталей используются лазеры на парах меди.

Лазеры на парах меди (ЛПМ) – это лазеры, генерирующие излучение в видимой области спектра с длинами волн 510.8 и 578.2 нм. Они работают в импульсно-периодическом режиме и имеют уникальное сочетание выходных параметров: частота повторения (5 – 30 кГц), длительность импульсов (10 – 50 нс), энергия в импульсе (0.1 –

10 мДж), интенсивность в пятне фокусировки ($10^8 - 10^{14}$ Вт/см²), малая расходимость пучка, высокий коэффициент однопроходного усиления.

ЛПМ используются для микрообработки материалов, традиционным способом – в качестве генератора мощных световых пучков с малой расходимостью, с последующей фокусировкой лазерного луча в обрабатываемое пятно дифракционных размеров [1 – 4]. Кроме того, благодаря высокому коэффициенту однопроходного усиления, ЛПМ используются в оптических системах с усилителями яркости, где можно реализовать оптические схемы для преобразования и когерентного усиления световых пучков, несущих оптическую информацию [5].

В связи с бурным развитием МЭМС особенно актуальна прецизионная обработка микродеталей размерами ≈ 100 мкм и меньше. Это накладывает высокие требования на точность обработки, ограничивает возможности и в некоторых случаях делает невозможным использование метода контурной резки.

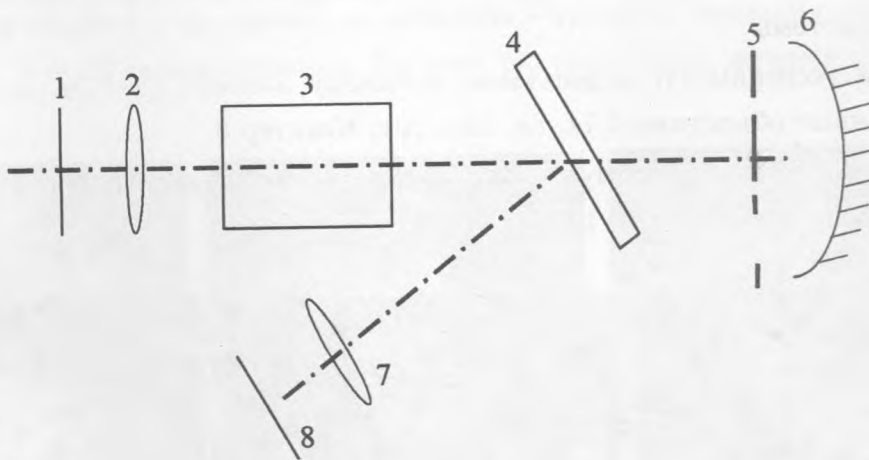


Рис. 1. 1 – объект, 2 – объектив, 3 – активный элемент, 4 – светоделительная пластина, 5 – маска, 6 – зеркало, 7 – объектив, 8 – экран.

Микрообработка деталей без механического движения реализуется в оптических системах с усилителями яркости на ЛПМ. Одной из схем с усилителями яркости на ЛПМ, имеющей непосредственное отношение к микрообработке, является схема проекционного микроскопа [5, 6]. Используя особенности схемы проекционного микроскопа и свойств ЛПМ, мы применили самосопряженную схему лазерного проекционного микроскопа для изготовления микродеталей (рис. 1) [5].

Работа схемы осуществляется следующим образом. Излучение сверхсветимости, испускаемое активной средой 3, собирается на поверхность объекта 1 объективом 2. Отражаясь и/или рассеиваясь на ней, излучение снова проходит через объектив 2 и усиливается в активном элементе 3. После выхода из активного элемента часть пучка выводится светоделителем 4 на проекционный объектив 7, который создает на экране 8 увеличенное изображение объекта. Остальная, большая часть пучка, после прохождения через светоделитель и через маску с увеличенным изображением объекта, который необходимо получить, попадает на глухое сферическое зеркало 6. После этого резонаторный пучок, несущий изображение маски, еще раз усиливаясь в активном элементе 3, при помощи объектива 2 формирует уменьшенное изображение маски на обрабатываемой поверхности объекта. Резонатор сформирован зеркалом 6 и самим объектом.

Существенной особенностью данной оптической схемы является то, что плоскость зеркала 6 и плоскость объекта 1 оптически сопряжены. Изображение маски, помещенной на зеркало 6, линейно переносится на объект, уменьшаясь в M раз, где M – увеличение оптической системы.

В данном эксперименте использован активный элемент LT-5Cu, зеркало 6 с $R = 84$ см, различные объективы 3.7x, 8x, 10x, 20x, Юпитер 8.

Целью исследований является получение деталей заданной или сложной формы, с линейными размерами от 5 до 100 мкм.

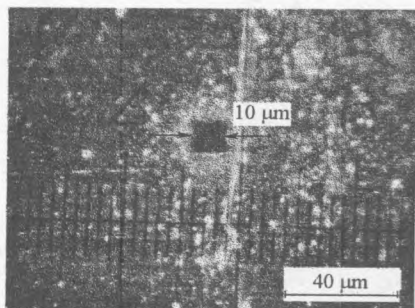


Рис.2

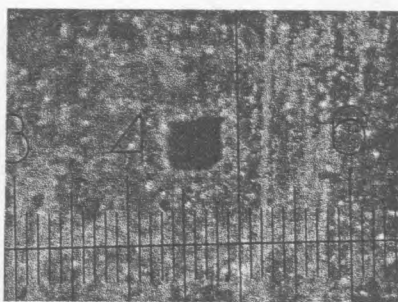


Рис.3



Рис.4

Использованы маски различной формы (квадратной, прямоугольной, треугольной) и маски в виде букв с размерами от 200 мкм до 5 мм. В результате, в зависимости от размера маски и типа используемого объектива, получены отверстия, соответствующие форме маски, с линейными размерами от 10 до 50 мкм на фольге из меди, нержавеющей стали толщиной 13 и 25 мкм и молибдена толщиной 100 мкм. На рис. 2 – 4 цена деления равна 4 мкм, материал – медная фольга. Рис. 2 – толщина $d = 13$ мкм, квадрат, $a =$

10 мкм. Рис. 3 – $d = 13$ мкм, квадрат, $a = 16$ мкм. Рис. 4 – $d = 13$ мкм, прямоугольник, $a = 30$ мкм, $b = 12$ мкм.

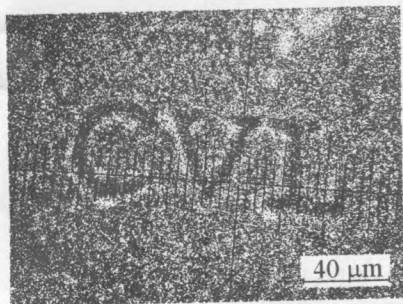


Рис.5

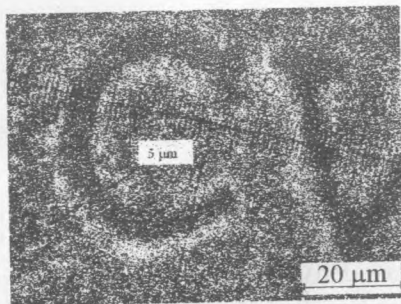


Рис.6

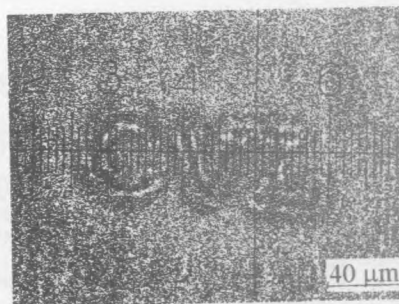


Рис.7

На рис. 5 – 7 представлены результаты резки букв CVL на фольге из меди толщиной 13 мкм, цена деления 4 мкм (рис. 5), цена деления 1 мкм (рис. 6) и на фольге из молибдена толщиной 100 мкм, цена деления – 4 мкм (рис. 7). Размеры букв, в зависимости от типа используемого объектива и размеров маски, составили от 20 до 160 мкм.

Результаты обработки различных неметаллов – кремния, германия, сапфира представлены рис. 8 – 10 соответственно. На всех рисунках цена деления шкалы равна 4 мкм.

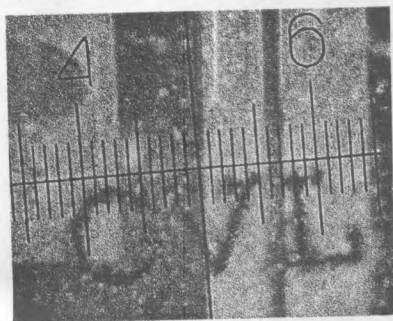


Рис.8

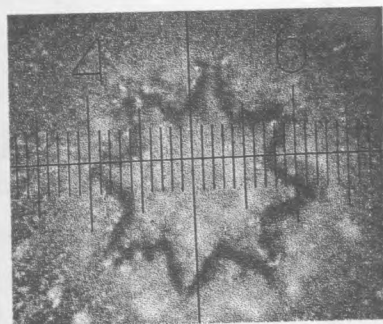


Рис.9

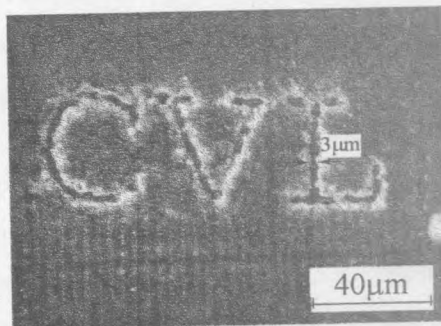


Рис.10

Итак, в работе показано, как при помощи оригинальной оптической схемы на основе ЛППМ произведена размерная резка и обработка изделий сложной формы без механического движения обрабатываемого объекта и элементов оптической системы. Произведена обработка и резка медной фольги, фольги из нержавеющей стали и молибдена толщиной 13 и 25 мкм. Получены детали размерами от 50 до 200 мкм, толщина линии реза составила 3–5 мкм. Вырезаны отверстия квадратной, прямоугольной, трапециевидальной и треугольной формы с размерами сторон от 10 до 50 мкм. Во время обработки проводился одновременный визуальный контроль за процессом обработки. Произведена обработка таких неметаллов, как кремний, германий, ситалл.

Работа частично поддержана грантом CRDF ARP2-5024-YE-04.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Григорьянц А. Г., Казарян М. А., Лябин Н. А. Лазеры на парах меди. М., Физматлит, 2005.
- [2] Pulsed Metal Vapour Lasers: Proceedind of the NATO Advanced Research Workshop on Pulsed Metal Vapour Lasers – Physics and Emerging applications in Industry, Medicine and Science, St. Andrews (UK), Aug. 6-10, 1995, Ed. С.Е. Little and N.V. Sabotinov.- Dortrecht, 1996.
- [3] Little С. Е. Metal Vapour Lasers. Physics Engineering and Applications. Chichester (UK), John Wiley and Sons Ltd., 1999.
- [4] Lyabin N. A., Chursin A. D., Ugolnikov С. А., Kogoleva М. Е., Kazaryan М. А. Quantum Electronics, **31**, 191 (2001).
- [5] Пасманик Г. А., Земсков К. И., Казарян М. А. и др. Оптические системы с усилителями яркости. Горький, ИПФ АН СССР, 1988.
- [6] Grigoryan G. V., Kazaryan М. А., Lyabin N. А., et al. Lasers in Engineering, **15**, 157 (2005).

Поступила в редакцию 19 сентября 2006 г.