

ВНУТРИРЕЗОНАТОРНАЯ ОБРАБОТКА ОБЪЕКТОВ В АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

К.И.Земсков, М.А.Казарян, Г.Г.Петраш, А.С.Скрипниченко, В.В.Чвыков

Осуществлена микрообработка объектов в пределах всего поля зрения с точностью не хуже предельно возможной для используемой фокусирующей системы.

Создание на поверхности различных объектов светового пятна с заданными размерами, формой и распределением в нем плотности световой мощности необходимо для решения разнообразных задач в микроэлектронике, биологии, медицине и других областях науки и техники. Обычно для этой цели используется схема, в которой освещенная область формируется на объекте с помощью маски, изображаемой с уменьшением. При необходимости изменить свойства объекта в результате светового воздействия схема должна содержать достаточно мощный источник света, причем значительная часть этого света теряется на непрозрачных элементах маски. Одним из возможных путей повышения эффективности использования света в проекционных обрабатывающих системах может служить применение оптического усилителя, который позволил бы освещать маску излучением небольшой мощности с последующим усилением пропущенного маской излучения.

В работе /1/ описаны усилители на парах металлов, обладающие коэффициентами усиления $0,1-0,3 \text{ см}^{-1}$, способные передавать изображения с числом независимых элементов $\sim 10^6$ по полю зрения и работающие в режиме насыщения. В /2,3/ на основе таких усилителей созданы системы для обработки объектов световым пятном малых размеров.

В данной работе описана внутрирезонаторная обработка объектов изображением маски произвольной формы в пределах всего поля зрения.

Оптическая схема установки показана на рис. 1а. В качестве усилителя в экспериментах использовался промышленный образец усилителя яркости на парах меди УЛ-102, обеспечивающий в режиме лазера среднюю мощность генерации более 5 Вт при средней, отбираемой от выпрямителя мощности, 1,5 кВт и частоте повторения импульсов 10 кГц. Длина активной зоны усилителя 40 см, диаметр 2 см. Объективами служат стандартные микрообъективы от 1 до $40\times$. Излучение сверхсветимости усилителя 3 через объектив 2 освещает объект 1. Рассеянный и отраженный от объекта свет собирается снова объективом 2 в пучок, несущий информацию об объекте, затем этот пучок усиливается в активной среде 3. После выхода из усилителя часть пучка светоделителем 6 (коэффициент отражения 4%) выводится на проекционное зеркало 11, которое создает на экране 12 увеличенное изображение объекта. Светоделитель 5 (коэффициент отражения 40%) служит для образования схем подсветки (ослабители 4, диафрагма 13, зеркало 10) и обработки (затвор 7, маска 8, зеркало 9). Зеркала 9 и 10, расположенные в плоскостях промежуточных изображений объекта, с помощью объектива 2 образуют с объектом 1 два сопряженных резонатора /3,4/, оба зеркала удалены от входного зрачка системы на расстояния, равные радиусам их кривизны. Схема подсветки служит для образования на объекте, при необходимости, более яркого, чем остальное поле зрения, пятна. Ослабители 4 перед зеркалом 10 обеспечивают на объекте плотность мощности ниже той, которая была бы достаточна для обработки объекта. Ход лучей в резонаторах схематически изображен на рис. 1б. При описанной юстировке главные лучи от каждой точки поля зрения отражаются "сами в себя", остальные описывают замкнутые траектории, воспроизводя после полного прохода изображение объекта на нем самом с увеличением 1. На зеркалах 9 и 10 при этом формируются изображения объекта, увеличенные в $M = L/l$ раз, где L и l — расстояния от объектива 2 до зеркала 9 и объекта 1. Как видно из рис. 1б, световые пучки от каждой точки объекта и маски занимают практически весь объем активной среды и различаются лишь направлениями главных лучей. В связи с этим пучки от различных точек объекта и маски хорошо перемещи-

ваются в активной среде, и в результате их взаимодействия происходит эффективный съем энергии среды в излучение, отраженное от открытых участков зеркала 9 /2,5,6/. Плотность мощности на объекте превышает соответствующую величину на открытых участках зеркала не менее чем в M^2 раз и способна приводить к плавлению, испарению и структурным изменениям освещенной части объекта. При этом непрозрачные участки маски практически не испытывают лучевой нагрузки. В результате экспериментов диафрагмы-маски из черной бумаги, ткани и т.п. не претерпевали каких-либо деформаций и разрушений.

Измерение размеров обработанных участков объекта проводилось на экране 12 при значениях линейного увеличения от 500 до 7000. В качестве маски перед зеркалом 9 использовался фотошаблон в виде сетки прозрачных штрихов шириной 100 мкм, разделенных квадратными непрозрачными участками $2 \times 2 \text{ мм}^2$. Измерения показали, что ширина обрабатываемых участков в ряде случаев оказалась меньше минимально разрешаемого размера для используемой оптики, рассчитанного по критерию Рэлея. С объективом $40\times$ (числовая апертура 0,65, $M = 450$) ширина обрабатываемых зон не превышала 0,3 мкм. С объективом $1\times$ (числовая апертура 0,05, $M = 30$) измеренная ширина обработанных зон соответствовала 2 мкм. Рассчитанные разрешаемые размеры по критерию Рэлея составляли соответственно 0,39 и 5,1 мкм.

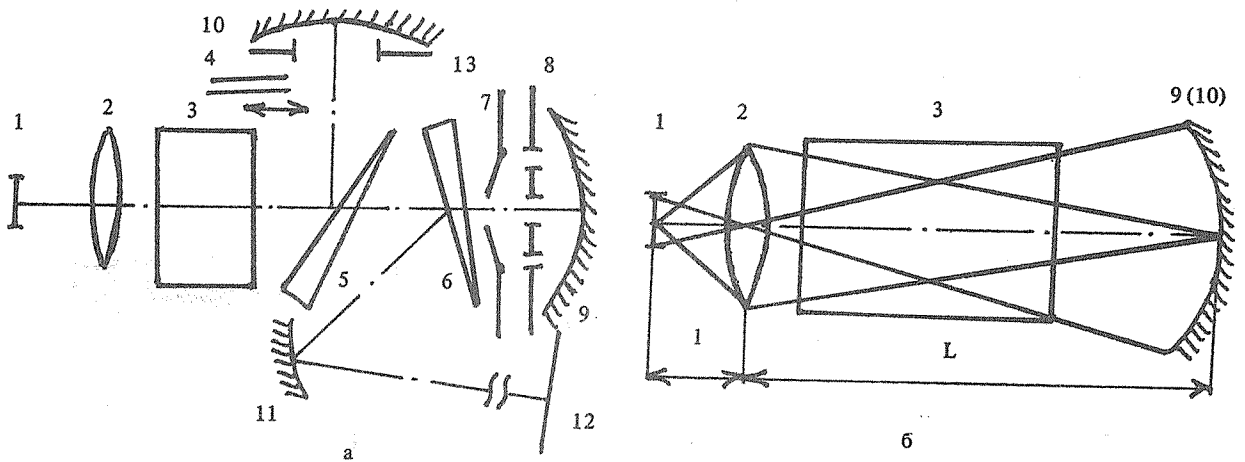


Рис. 1. Схема установки: а) оптическая схема эксперимента; б) ход лучей в оптической системе.

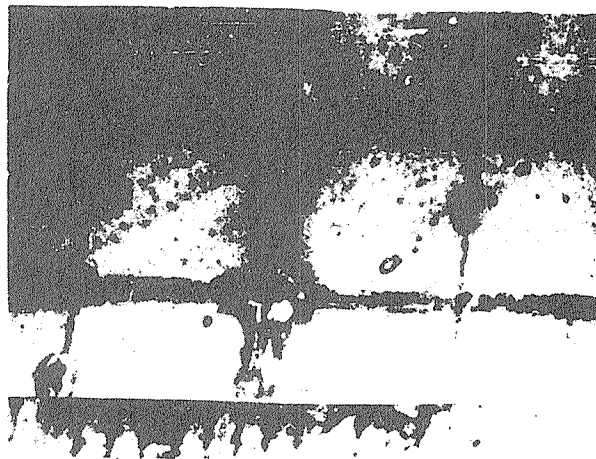


Рис. 2. Фрагмент участка объекта, обработанного в объективом $1\times$. Фотографирование с экрана проведено при использовании в схеме объектива $9\times$. Масштаб на фотографии 10 мкм на деление на изображении объект-микрометра.

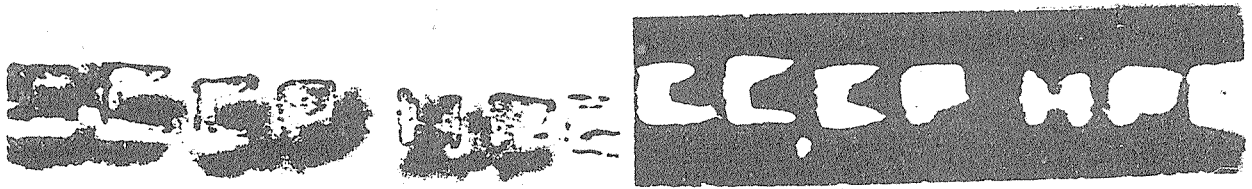


Рис. 3. Примеры изображений с экрана: а) в процессе обработки; б) результат обработки.

На рис. 2 приведена сделанная с экрана 12 фотография обработанного участка объекта (стекло с металлизированным покрытием).

Объектами служили также кремниевые пластинки, стекла с напыленным слоем алюминия, поверхности металлических образцов. На рис. 3 приведены фотографии с экрана 12 для случая, когда объектом служила кремниевая пластина, а маской на зеркале 9 — черная бумага с вырезанными в ней буквами. Снимок на рис. 3а сделан при включенном резонаторе обработки, на рис. 3б показан результат обработки.

Таким образом, в данной работе продемонстрирована возможность лазерной микрообработки объектов с точностью не хуже предельно возможной, в результате которой производится запись различной формы изображений, в частности, в виде периодической структуры или цифровых и буквенных знаков. Это может представлять большой интерес для ряда применений, в частности, для изготовления изделий микроэлектроники и записи больших объемов информации с применением активной среды лазера на парах меди, работающего с частотой повторения 10^4 Гц при длительности светового импульса 10^{-8} с, для избирательного воздействия на участки биоткани в биологии и медицине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земсков К. И., Казарян М. А., Петраш Г. Г. УФН, 126, вып. 4, 695 (1978).
2. Земсков К. И. и др. Изобретения в СССР и за рубежом, вып. 122, № 5, 37 (1982).
3. Земсков К. И. и др. Квантовая электроника, 13, 2096 (1986).
4. Hardy W. A. IBM J. Res. and Develop., 9, 31 (1965). Имеется перевод в сб. под редакцией Ерковица С.П. Оптическая обработка информации. М., Мир, 1966, с. 334.
5. Земсков К. И. и др. Квантовая электроника, 10, 336 (1983).
6. Казарян М. А., Матвеев В. М., Петраш Г. Г. Квантовая электроника, 11, 932 (1984).

Поступила в редакцию 16 февраля 1988 г.