

УСИЛИТЕЛЬ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСИМЕРНОГО ХеСІ ЛАЗЕРА

К.И. Земсков, М.А. Казарян, В.Т. Михкельсоо, В.Э. Пеэт,
Г.Г. Петраш, А.Б. Трещалов

Реализована схема лазерного проекционного микроскопа с возможностью микрообработки, в которой в качестве усилителя яркости изображений использована активная среда эксимерного ХеСІ лазера.

Одним из направлений развития активных оптических систем с усилителями яркости изображения является расширение области спектра, в которой они могут эффективно работать /1/. В настоящее время такие усилители с параметрами, представляющими практический интерес, реализованы в видимой и ближней ИК областях спектра. Их активными средами служат, в основном, пары металлов: меди, золота, бария, марганца.

Несомненный интерес, основанный на повышении разрешающей способности активных оптических систем и увеличении энергии кванта усиливаемого излучения, представляет создание усилителей в УФ области спектра. В рамках этого же направления существует задача создания системы, способной усиливать по яркости цветные изображения. Возможным ее решением может служить применение в качестве усилителей яркости изображения растворов органических красителей.

В /2/ получено усиленное по яркости изображение в схеме лазерного проекционного микроскопа с активной средой на парах золота на длине волны 312,2 нм. Однако технические трудности не дали возможности создать практичную систему с таким усилителем. В /3/ описана проекционная система с использованием красителей, накачиваемых азотным лазером, в системе генератор — усилитель.

Данная работа посвящена экспериментальной реализации лазерного проекционного микроскопа с усилителями яркости на основе активных сред ХеСІ лазера и лазера на красителе кумарин-7.

В экспериментах использовался активный элемент эксимерного лазера ЭЛИ-3 /4/ с размерами активной зоны 20 x 8 x 650 мм³, работавший с частотой повторения импульсов 10–40 Гц. Разрядный объем заполнялся смесью Хе:НСІ:Аг. В режиме лазера энергия импульса генерации составляла ~ 60 мДж.

На рис. 1а показана схема лазерного проекционного микроскопа, в которой объект наблюдения (1) освещается через объектив (2) излучением сверхсветимости активной среды (3). Отраженный и рассеянный объектом свет вновь попадает в объектив и затем усиливается, проходя по активной среде. На выходе усилителя расположены проекционная система (4) и экран (5). В данной работе в такой схеме были получены с линейным увеличением до 4000 усиленные по яркости изображения с ХеСІ усилителем яркости. Объектами служили интегральная схема, поверхность алюминированного зеркала с дефектами, фотошаблоны, используемые в микроэлектронике. В качестве объективов и проекционных линз применялись кварцевые линзы с фокусными расстояниями 6, 15, 27 см и зеркально-линзовый микрообъектив ОК-40 с числовой апертурой 0,5. Для визуализации изображений использовались экраны из белой бумаги, белой ткани, белой бумаги с нанесенным на нее красителем родамин 6Ж.

Расчетная величина минимального разрешаемого элемента объекта в схеме с объективом ОК-40 составляла 0,3 мкм. Наблюдались элементы объектов с размерами ~ 2 мкм. Наличие вибраций и жесткость крепления элементов схемы затрудняли работу с таким объективом и могли служить причиной снижения качества изображения. Поле зрения системы с этим объективом составляло ~ 50 X 100 мкм², поле изображения ~ 20 X 40 см². Яркость изображения была невелика, и наблюдение проводилось на экране, защищенном от посторонних засветок. Причиной малой яркости могли быть характеристики экрана-визуализатора и сильное ослабление (~ 70 раз) освещающего объект пучка из-за малого светового диаметра объектива ОК-40. Переход к объективам больших диаметров позволил заметно увеличить яркость изображения. С линзой с фокусным расстоянием 15 см (световой диаметр 35 мм) изображение, увеличенное в 100 раз,

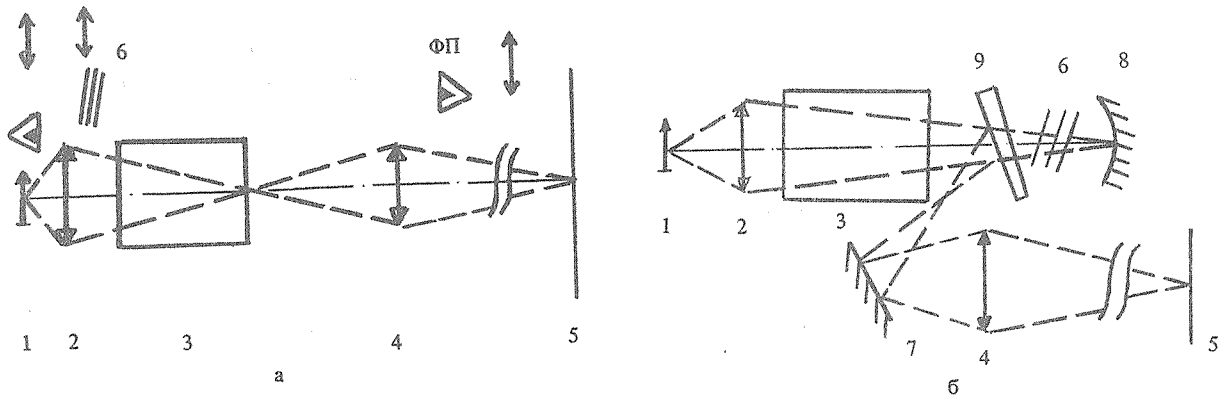


Рис. 1. Схемы экспериментов: а – получение изображений и измерение усилительных характеристик ХеСl активной среды; б – обработка элементов в поле зрения системы с ХеСl усилителем; в – получение изображений с усилителем ВЛ-10 на кумарине-7. 1 – объект, 2 – объектив, 3 – активная среда, 4 – проекционная линза, 5 – экран, 6 – ослабители, 7 – плоское Al-зеркало, 8 – зеркало обратной связи, 9 – светодетектор.

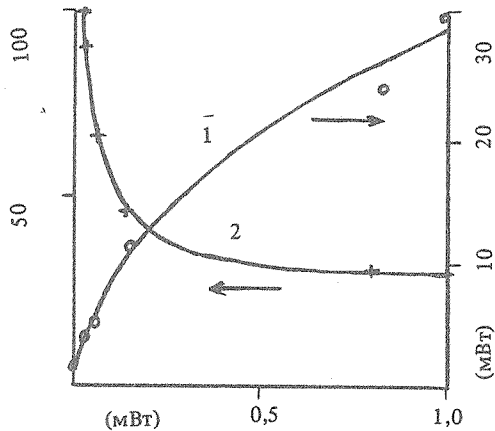
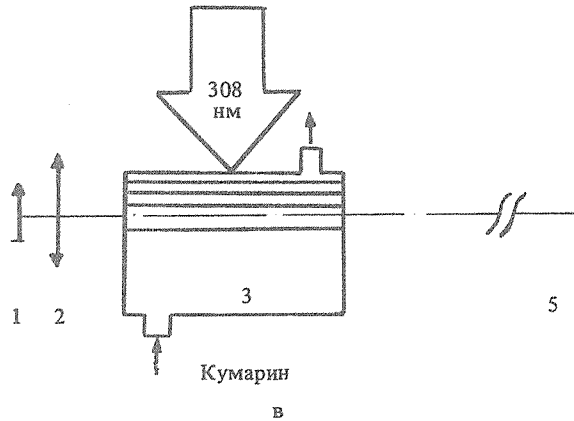


Рис. 2. Зависимости выходной средней мощности (кривая 1) и эффективного усиления (отношение средних мощностей на выходе и входе усилителя – кривая 2) от средней мощности на входе ХеСl усилителя.

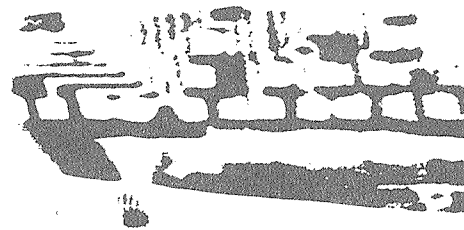


Рис. 3. Пример изображения, линейное увеличение на экране 300, объект – участок интегральной схемы.

могло наблюдаться в незатемненном помещении. Поле зрения с этим объективом составляло $1 \times 2 \text{ мм}^2$, поле изображения $10 \times 20 \text{ см}^2$.

Измерения усилительных характеристик проводились в схеме, показанной на рис. 1а, методом калиброванного ослабления входного сигнала. Средняя мощность излучения сверхсветимости, освещающего объект, измерялась калориметрическим приемником (ФП), затем в схему вводился объект наблюдения с

известным коэффициентом отражения (85% в данном случае). Средняя мощность света на выходе усилителя измерялась тем же приемником, располагаемым вблизи фокуса проекционной линзы. Изменение входного сигнала осуществлялось калиброванными ослабителями (6), вводимыми между объективом (2) и усилителем. Частота повторения импульсов составляла 10 Гц.

Результаты измерений представлены на рис. 2. По этим данным были оценены коэффициент усиления $\sim 0,07 \text{ см}^{-1}$ и плотность насыщающей средней мощности $\sim 14 \text{ мВт/см}^2$. В оценках использовались значения длины активной зоны усилителя 65 см и площади поперечного сечения $1,6 \text{ см}^2$.

Более яркие увеличенные изображения (рис. 3) были получены в схеме, показанной на рис. 1б, где используется подсветка поля зрения с помощью сферического зеркала (8). Это зеркало устанавливалось в плоскости, оптически сопряженной с плоскостью объекта, причем центр кривизны зеркала (8) совпадал с центром входного зрачка системы /5/. Уровень подсветки регулировался в данном случае изменением пропускания ослабителя (6) перед зеркалом (8). При выводе ослабителя из схемы наблюдалась, как в /5/, обработка объекта, выглядевшая как "выгорание" мелких хорошо отражающих элементов объекта по всему полю зрения. Описанная система обработки может оказаться полезной для решения ряда задач технологии микроэлектроники.

Задачей работы с усилителем на красителе являлось получение усиленного по яркости изображения объекта при использовании активной среды усилительной ячейки лазерной системы ВЛ-10 /6/. В схеме (рис. 1в) был применен микрообъектив 9^x с числовой апертурой 0,2. Увеличенное изображение объекта наблюдалось на удаленном экране (5) без дополнительной проекционной системы. Излучение накачки от ХеСл лазера фокусировалось в кювету с прокачиваемым раствором кумарина-7 цилиндрической линзой. Размеры поперечного сечения возбужденной зоны в красителе составляли $\sim 0,15 \times 0,2 \text{ мм}^2$, длина зоны — около 30 мм. При частотах повторения импульсов накачки от 10 до 40 Гц с линейным увеличением ~ 300 было получено усиленное по яркости изображение фотошаблона, представлявшего собой решетку с периодом около 50 мкм. Размеры поля изображения на экране составляли $4 \times 6 \text{ см}^2$. Изображение наблюдалось в незатемненном помещении. Распределение яркости на экране в изображении было заметно неоднородным. Для улучшения качества изображений и условий наблюдения, по-видимому, необходима разработка специальных кювет усилителей с увеличенной угловой апертурой и более однородным распределением энергии накачки по поперечному сечению зоны усиления.

Основные результаты, полученные в данной работе, следующие.

1. Наблюдались усиленные по яркости в ~ 100 раз изображения микрообъектов при линейном увеличении до 4000 при использовании в качестве усилителя яркости изображения активной среды ХеСл лазера.
2. Реализована система, способная обрабатывать объекты в схеме лазерного проекционного микроскопа с усилителем яркости на ХеСл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земсков К. И., Казарян М. А., Петраш Г. Г. УФН, 126, вып. 4, 695 (1978).
2. Kazaryan M. A., Petrash G. G., Zemskov K. I. Opt. Commun., 33, № 2, 209 (1980).
3. Hänsch T. W., Varsanyi F., Schawlow. Appl. Phys. Lett., 18, 108 (1971).
4. Клименти Т. И., Саар К. Ю., Михельсоо В. Т. Труды Института физики АН ЭССР, 56, 38 (1984).
5. Земсков К. И. и др. Изобретения в СССР и за рубежом, вып. 122, № 5, 37 (1982).
6. Белянин В. Б., Михельсоо В. Т., Саари П. М. Вестник АН СССР, № 4, 67 (1984).

Поступила в редакцию 7 июля 1987 г.