

# ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК

В.И. Берендяев\*, А.В. Волков, Н.Л. Казанский, Б.В. Котов\*, В.С. Соловьев  
Институт систем обработки изображений РАН,  
Институт физической химии им. С.Я. Карпова\*

## Аннотация

Предлагается метод формирования микрорельефа дифракционных оптических элементов (ДОЭ) с использованием в качестве фоточувствительного слоя полиимидных пленок, как плазмостойких материалов. Исследуется возможность получения более высокого микрорельефа при меньших толщинах фоточувствительного слоя.

## 1. Введение

Задача изготовления дифракционного оптического элемента (ДОЭ) с необходимыми параметрами сводится к изготовлению зонной пластины с заданным фазовым микрорельефом. С точки зрения практической реализации ДОЭ наибольшее распространение получили два типа фазового микрорельефа: ступенчатый (бинарный и многоуровневый) и кусочно-непрерывный. Элементы, реализованные с использованием малого количества уровней микрорельефа, имеют малую эффективность (для бинарных структур эффективность порядка 40%, для четырехуровневых - не более 80%). Использование многоуровневых структур, имеющих относительно высокую эффективность (до 95%), ограничивается сложностью их производства, требующего большого количества дорогостоящего и прецизионного оборудования. Для получения высокоэффективных элементов необходимо, чтобы высота микрорельефа в пределах каждой зоны плавно изменялась от 0 до максимального его значения, что решается при использовании кусочно-непрерывного микрорельефа.

Методы формирования кусочно-непрерывного микрорельефа с использованием желатиновых слоев, полутонковых фоторезистов и жидких фотополимеризующихся композиций хорошо описаны в литературе [1-4]. Основной проблемой при формировании микрорельефа с использованием этих материалов является наличие определенной взаимосвязи между высотой формируемого микрорельефа и его периодом. Т.е. на основе одного материала можно получать ДОЭ, используемые только в конкретном диапазоне длин волн.

В настоящей статье предложена технология формирования микрорельефа в слоях светочувствительного материала более стойкого к воздействию плазмы с последующим переносом его в подложку одновременным травлением полиимида и подложки до полного стравливания исходного микрорельефа [5]. В нашем случае в качестве фоточувствительного слоя используются полиимидные пленки, нанесенные на кремниевую подложку.

## 2. Формирование микрорельефа в полиимидной пленке

Поскольку последовательность технологического процесса формирования микрорельефа в полиимидных слоях является традиционной для фотолитографии, следует остановиться только на неко-

торых особенностях нанесения и обработки полиимидных пленок.

Фоточувствительная пленка наносилась на кремниевую подложку из 5% раствора методом центрифугирования. В качестве растворителя использовалась смесь циклогексана с N-метилпирролидоном в соотношении 1:1. После нанесения слой сушился при температуре 60° С в течении 30 минут. Высота микрорельефа зависит в первую очередь от толщины полиимидной пленки, которая определяется концентрацией полиимида в растворе и скоростью вращения центрифуги. Эта взаимосвязь представлена на рис.1.

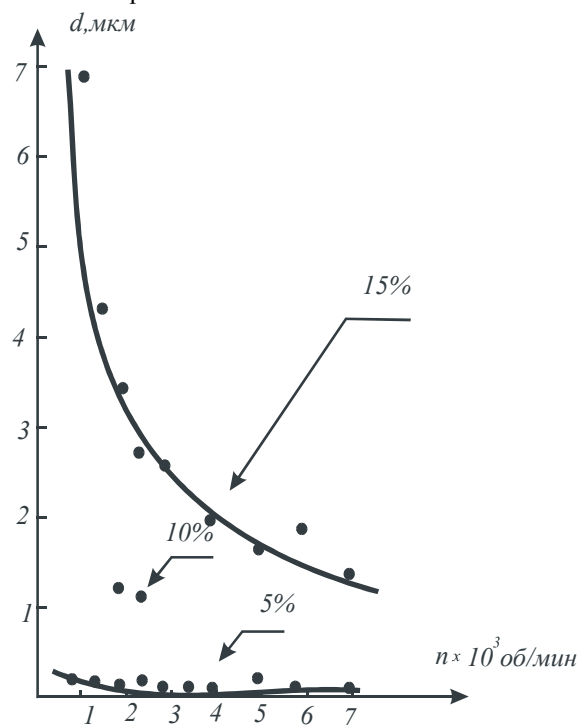


Рис.1. Зависимость толщины пленки полиимида на подложке от концентрации раствора и скорости вращения центрифуги.

Экспонирование проводилось коллимированным пучком света ртутной лампы ДРШ-500, а также неколлимированным светом лампы ДРТ-1000. Результаты экспериментов при этом показали, что с лампой ДРШ-500 экспозиция увеличивается примерно на порядок по сравнению с ДРТ-1000, т.к. ее спектр излучения сдвинут в длинноволновую область. Спектральные характеристики поглощения полиимида показаны на рис.2.

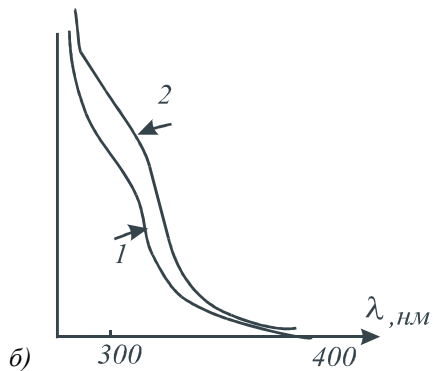
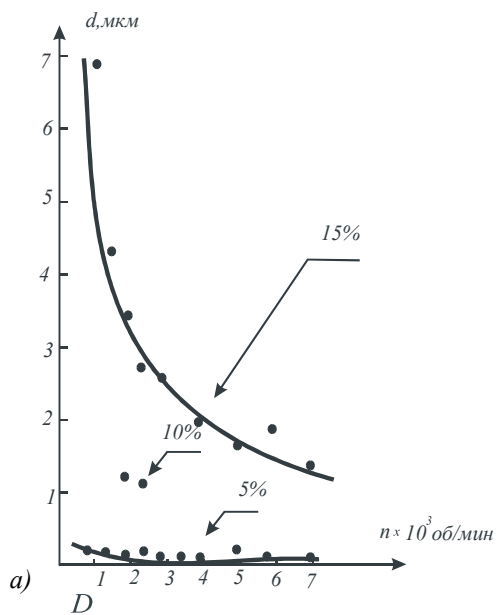


Рис. 2. Спектр поглощения полиамида: (а) – в растворе, (б) – в виде пленки (кривая 1 – до экспонирования и кривая 2 – после длительного экспонирования УФ-светом).

Экспонированный слой проявлялся в смеси метилпирролидона и этанола. Время проявления выбиралась исходя из толщины слоя полиимидной пленки. Для толщины пленки полиимида 1 около 0,5 мкм (см. рис.3) время проявления составляло порядка 30с., у полиимида 2 скорость проявления несколько выше.

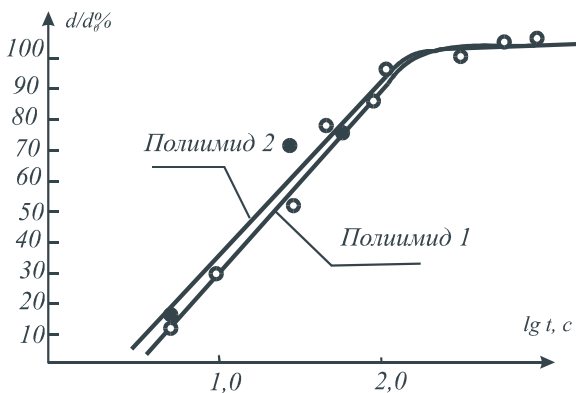


Рис.3. Кривые зависимости нормализованной толщины остаточного слоя полиимида после проявления фотоэкспонированного слоя полным светом лампы ДРШ-500.

После проявления и сушки следовала технологическая операция задубливания, которая проводилась на воздухе при температуре 250-270°C. Дериватогаммы, показывающие потерю массы полимера в зависимости от температуры в среде воздуха и аргона, показаны на рис. 4 и 5 соответственно.

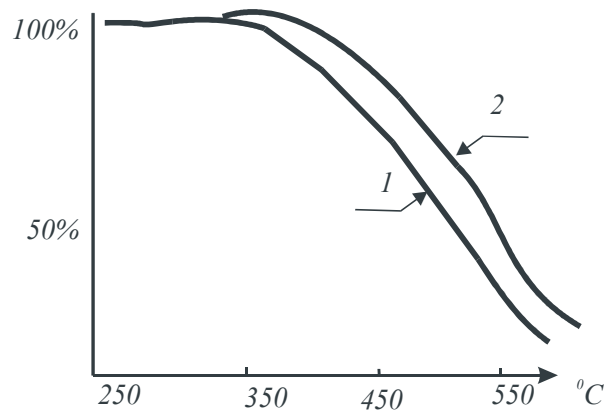


Рис.4. Дериватогаммы полиимидов на воздухе.

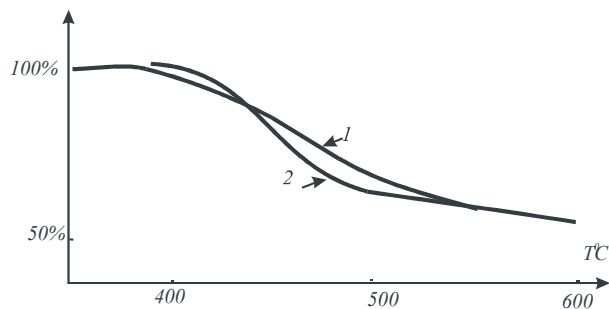


Рис.5. Дериватогаммы полиимидов в аргоне.

Идеализированный профиль пилообразного микрорельефа, полученный в результате выполнения всех технологических операций в полиимидном слое, нанесенном на кремниевую подложку, представлен на рис. 6а, и перенесенный в подложку путем травления - на рис.6б.

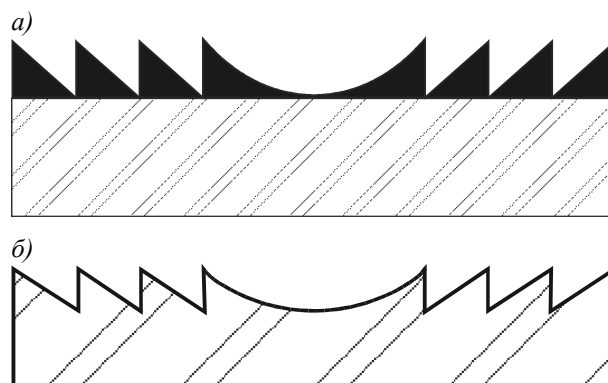


Рис. 6. Профиль микрорельефа: (а) - в полиимидной пленке, нанесенной на кремниевую подложку, (б) - в кремниевой подложке

### 3. Результаты эксперимента

Результаты эксперимента (для простоты приведенного на основе бинарного микрорельефа) представлены на рис.7 (а, б). На рис.7а представлена профилограмма исходного бинарного микрорельефа, полученного в полиимидном слое.

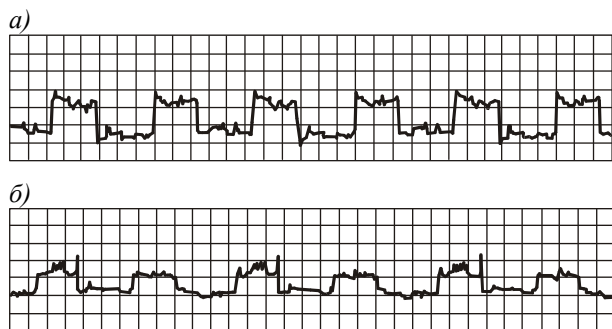


Рис.7. Профилограмма микрорельефа: (а) - в полиимиде на кремниевой подложке (период решетки 20 мкм, высота микрорельефа 0,2 мкм), (б) - в кремнии после полного травливания полиимида (высота микрорельефа 0,1 мкм)

Перенос микрорельефа из полиимида в кремниевую подложку осуществлялся на опытно-промышленной установке травления пластин в ВЧ-разряде с магнитным полем [6]. Травление осуществлялось в среде газовой смеси  $CCl_2F_2$  и  $O_2$  в соотношении 5:1 соответственно, при мощности разряда 300-350 Вт, до полного стравливания микрорельефа

в полиимиде. Профилограмма конечного микрорельефа в подложке представлена на рис.7б.

### 4. Заключение

Использование материалов, имеющих повышенную плазмостойкость, способствует получению более высокого (по сравнению с получаемым при использовании обычных фоторезистов) микрорельефа, при относительно малой его высоте в фоточувствительном слое, что к тому же позволяет повысить разрешающую способность фотоматериала. Например, при одной и той же толщине исходных слоев фоторезиста СК-051 и полиимида конечная высота микрорельефа в кремниевой подложке, сформированного с использованием полиимида, в 2,5 раза выше.

### Литература

1. Бруй Е.Б., Корешков С.Н. //Оптика и спектроскопия, 67(3), 1989. С. 685.
2. Галперин А.Д., Смаев В.П., Селявко Л.В., Шелехов Н.С. //Сб. научных трудов ЛФТИ. Л, 1988.
3. Методы компьютерной оптики / Под ред. В.А. Сойфера. - М.: Физматлит, 2000, 688 с.
4. Соловьев В.С. Компьютерная оптика, 10-11, 1989. С. 145.
5. Волков А.В., Рыбаков О.Е., Соловьев В.С. Компьютерная оптика, 17, 1997. С. 94-96.
6. Волков А.В., Казанский Н.Л., Соловьев В.С. Компьютерная оптика, 18, 1998. С.130-133.