

А.В.Волков, Н.Л.Казанский, О.Ю.Мусеев, В.А.Сойфер

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ДИФРАКЦИОННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ПОСЛОЙНОГО НАРАЩИВАНИЯ ФОТОРЕЗИСТА

Введение

Перспективы дифракционной оптики, ее богатейшие функциональные возможности [1-3] требуют развития методов высококачественного формирования дифракционного микро рельефа. Для изготовления микро рельефа дифракционных оптических элементов (ДОЭ) широко применяются методы микроэлектронной технологии [4-7], в которых особое место занимает фотолитография, позволяющая получить ступенчатый рельеф, аппроксимирующий заданную форму поверхности в каждой точке кусочно-непрерывной функцией [1,8]. Суть фотолитографической технологии состоит в следующем (рис.1).

Процесс формирования рельефа в слое фоторезиста

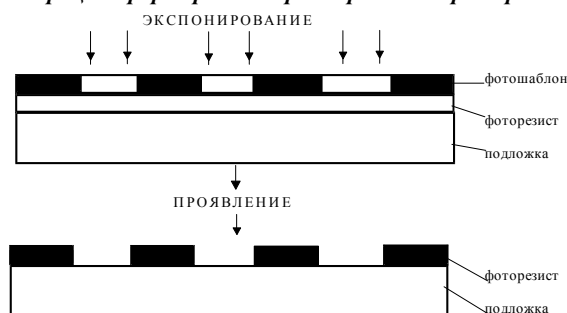


Рис. 1.

На плоскую подложку, на которой нужно сформировать рельеф, наносится слой фоторезиста, затем

он засвечивается через фотошаблон, состоящий из прозрачных и непрозрачных зон. В местах засветки структура фоторезиста меняется и при дальнейшей химической обработке в зависимости от состава резиста удаляются либо засвеченные, либо не засвеченные участки. В результате в слое фоторезиста образуются окна, через которые производится травление подложки. После травления и удаления оставшегося резиста на ней остается рельеф, соответствующий рисунку на фотошаблоне. Глубина полученного рельефа зависит от способа травления подложки, времени травления и состава травителя. При необходимости получения многоградационного рельефа, процесс фотолитографии повторяется нужное количество раз. Существенным недостатком в технологии фотолитографии при изготовлении ступенчатого рельефа является необходимость проведения операций многократного нанесения фоторезиста и его обработки, и травления подложки, что приводит к значительному искажению рисунка элемента вызванных нестабильностью технологических режимов и из-за погрешностей возникающих при травлении подложки (клин травления) [9].

В настоящей работе рассматривается технология изготовления дифракционного микро рельефа, позволяющая избежать этапа травления подложки, что дает возможность исключить погрешности травления и удешевить технологию изготовления ДОЭ.

Этапы изготовления ДОЭ

Особенность предлагаемого метода состоит в том, что ступенчатый рельеф дифракционного оптического элемента формируется путем многократного нанесения фоторезистивных слоев (слой на слой), прошедших этапы засветки через соответствующий фотошаблон и все процессы обработки.

Нанесение фоторезиста.

Фоторезист (на основе нафтохинондиазидов) наносился методом центрифугирования на стеклянную подложку с плоскостностью 1-4 кольца Ньютона по всей поверхности. Поскольку определяющим фактором в данном техпроцессе является толщина фоторезистивного слоя, то для стандартного фоторезиста ФП-051 были отработаны технологические режимы получения слоев определенной толщины во взаимосвязи вязкости и скорости вращения центрифуги (рис.2).

Зависимость толщины пленки от числа оборотов центрифуги для разных типов вязкости фоторезиста.

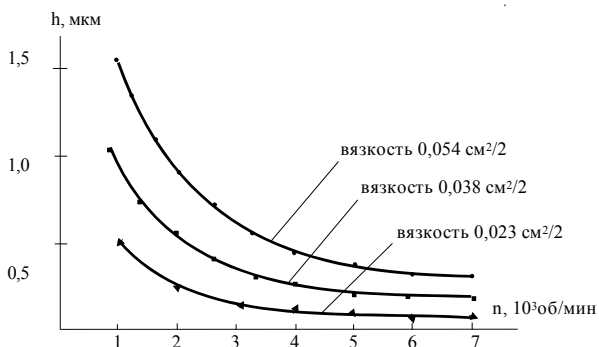


Рис.2.

Стабильность толщины наращиваемого слоя обеспечивалась фиксированной вязкостью фоторезиста и стабильностью скоростных характеристик центрифуги. Глубокое термическое задубливание предыдущего слоя позволяло без деструкции работать с последующим слоем.

Совмещение слоев.

При изготовлении многоуровневых структур нами использована модернизированная промышленная установка ЭМ-5006А. В модернизированном виде она может быть использована для совмещения изображений на фотошаблоне и стеклянной пластине и переноса изображения с фотошаблона на пластину экспонированием фоторезистивного слоя пластины при фотолитографических процессах изготовления дифракционных оптических элементов, полупроводниковых приборов и гибридных интегральных микросхем частного применения. Установка обеспечивает получение минимального изображения элемента размером не более 3 мкм, по рабочему полю диаметром 100 мм и рассчитана на применение фоторе-

зиста типа ЭЛП-9 или ФП-051, со следующими параметрами нанесенных пленок:

толщина слоя фоторезиста, мкм	0,5 - 1,0;
неравномерность толщины, %	не более 10;
погрешность совмещения элементов фотошаблона и стеклянной пластинки по координатам X и Y, мкм	не более $\pm 0,25$.

Одним из определяющих факторов влияющих на точность изготовления многоуровневого рельефа является точность совмещения слоев, она должна быть в 5-10 раз меньше минимального размера зон в последней маске. Для первого слоя, когда поверхность подложек еще однородна, фотошаблоны ориентируют относительно базового среза подложки. Для последующих слоев, когда на подложке сформированы топологически рисунки, фотошаблон можно ориентировать относительно рисунка предыдущего слоя визуально, где точность совмещения определяется принципом работы и качеством выполнения микроманипуляторов, размером и контрастностью знаков совмещения, формой знаков, а также постоянством этих параметров в процессе технологических обработок подложки. При выборе знаков совмещения для ДОЭ необходимо учитывать структуру рисунка. Например, для радиально-симметричных структур, ошибка по углу не является критичной, в то время как небольшой сдвиг по X или Y может привести к полной потере работоспособности элемента. Поэтому наряду с обычными маркерными знаками была использована и шкала Нониуса, позволяющая оценить погрешность совмещения еще в процессе совмещения и вовремя ее устранить (рис.3). Точность совмещения с помощью таких маркерных знаков была не менее 1.0мкм при ширине линий 10-100мкм.

Реализация метода

Предлагаемый метод был апробирован при изготовлении отражающего ДОЭ для дальнего ИК-диапазона излучения с параметрами:

Диаметр апертуры, D	40 мм;
фокусное расстояние, F	400 мм;
рабочий угол, Q	45 град.,
длина волны,	10,6 мкм.
размеры отрезка	5x0,3 мм.

Маркерные знаки со шкалой Нониуса

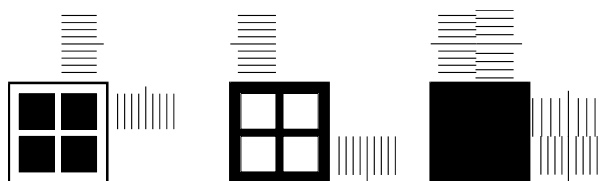


Рис. 3.

По рассчитанной фазовой функции оптического элемента на лазерном фотопостроителе FEAG-300 были получены 7 позитивных бинарных фотошаблонов с разрешением 10 мкм. Бинарные зоны

фотошаблонов были рассчитаны исходя из равной высоты формируемой ступеньки микрорельефа на каждом этапе аппроксимации для получения в конечном итоге 8 уровней квантования фазы ДОО. Для улучшения отражательной способности на поверхность, сформированного в слоях фоторезиста ДОО методом термовакуумного напыления наносился тонкий (~0,5 мкм) слой алюминия. Фотография фокусатора в оправе представлена на рис.4, а профилограмма микрорельефа изготовленного ДОО на рис.5.

Фокусатор в отрезок в оправе.



Рис.4.

Профилограмма микрорельефа фокусатора.



Рис.5.

Профилограмма свидетельствует о высоком качестве микрорельефа, при сравнительно простой технологии его получения.

Заключение

Предлагаемый относительно простой и недорогой метод формирования дифракционного микрорельефа проанализирован на примере изготовления ДОО для дальнего ИК-диапазона. Испытания изготовленного ДОО в оптической установке продемонстрировали хорошие оптические свойства и возможность для оптического элемента выдерживать много-

модовое лазерное излучение мощностью до 500 Вт при диаметре освещающего пучка не менее 50 мм. Используя факт наличия клина при проявлении фоторезиста [9,10] в перспективе можно получить рельеф многоуровневой дискретной структуры максимально приближенный к полутонковому рельефу.

Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственной научно-технической программы "Научные технологии" при поддержке Министерства науки и технической политики РФ. Авторы выражают благодарность Ю.А.Рункову, С.И.Харитонову, С.Г.Волотовскому, Я.Е.Тахтарову и С.В.Смагину за помощь в подготовке настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Компьютерная оптика. Достижения и проблемы // Компьютерная оптика, вып.1. - М.: МЦНТИ. - 1987. - С.5-19.
2. Morkry P. Unique applications of computer-generated diffractive optical elements // Proceedings SPIE. - 1989. - Vol.1052. - P.163-170.
3. Leger J.R., Moharam M.G., Gaylord T.K. Diffractive optics: an introduction to the feature issue // Applied Optics. - 1995. - Vol.34, No 14. - P.2399-2400.
4. Попов В.В. Материалы и методы для создания плоских фокусирующих элементов // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1987. - Вып.1. - С.160-163.
5. Аристов В.В., Бабин С.В., Ерко А.И. Возможности технологии микрорельефа для создания элементов компьютерной оптики // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1989. - Вып.4. - С.61-65.
6. The technology of fabricating focusators of infrared laser radiation / Golub M.A., Rybakov O.E., Usplenjev G.V., Volkov A.V., Volotovskiy S.G. // Optics and Laser Technology. - 1995. - Vol.27, No 4. - P.215-218.
7. Rectangular-apertured micro-Fresnel lens arrays fabricated by electron-beam lithography / Shiono T., Setsune K., Yamazaki O., Wasa K. // Applied Optics. - 1987. - Vol.26. - P.587-591.
8. Бобров С.Т., Грейсух Г.И., Туркевич Ю.Г. Оптика дифракционных элементов и систем. - Л.: Машиностроение, 1986. - 224с.
9. Черняев В.Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА. - М.: В.шк., 1987. - 376с.
10. Валиев К.А. Физика субмикронной литографии. - М.: Наука. 1990. - 528с.