

Формирование синусоидальных голографических решеток методом сухого электронно-лучевого травления резиста

Ф. А. Сидоров, А. Е. Рогожин

Физико-технологический институт им. К. А. Валиева РАН, Москва, Россия

Метод сухого электронно-лучевого травления резиста (СЭЛТР) основан на цепной реакции термической деполимеризации, протекающей при экспонировании позитивного полимерного резиста электронным лучом при температурах выше температуры стеклования резиста и обеспечивающей формирование рельефа непосредственно при экспонировании. Одной из особенностей данного метода является возможность высокопроизводительного формирования в резисте волнообразного профиля при экспонировании вдоль серии параллельных линий. На основе моделирования процесса СЭЛТР было установлено, что при правильном подборе параметров экспонирования в резисте ПММА могут быть получены синусоидальные решетки с плотностью штрихов до 2000 1/мм и глубиной профиля до 200 нм. Среднеквадратичное отклонение вершин поверхности решеток от функции синус при этом составляет менее 5 %.

Ключевые слова: Термическая деполимеризация резиста, Сухое электронно-лучевое травление резиста, Дифракционные оптические элементы.

Цитирование: Сидоров, Ф. А. Формирование синусоидальных голографических решеток методом сухого электронно-лучевого травления резиста / Ф. А. Сидоров, А. Е. Рогожин // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 360–362.

Введение

Основным методом формирования синусоидальных голографических решеток в настоящее время является интерференционная литография. Однако, в качестве альтернативного высокопроизводительного метода может рассматриваться сухое электронно-лучевое травление резиста (СЭЛТР) [1]. Метод СЭЛТР основан на цепной реакции термической деполимеризации, протекающей при экспонировании позитивного полимерного резиста электронным лучом при температурах выше температуры стеклования резиста. Протекающие в этих условиях электронно-стимулированные разрывы молекул резиста инициируют реакцию цепной термической деполимеризации, что приводит к появлению в резисте большого количества свободного мономера. Вследствие диффузии мономер покидает область травления, обеспечивая формирование полостей в резисте, которые впоследствии заполняются резистом за счет его релаксации. Это приводит к формированию в резисте рельефа со сглаженным профилем непосредственно на стадии экспонирования. Экспериментально было установлено, что экспонирование вдоль серии параллельных линий (“в кадр”) приводит к формированию в резисте решетки с профилем, близким к синусоидальному (рис. 1).

1. Моделирование синусоидального профиля, получаемого методом сухого электронно-лучевого травления резиста

Для моделирования профиля рельефа, получаемого методом СЭЛТР, использовался алгоритм, учитывающий основные протекающие процессы – электронно-стимулированные разрывы молекул резиста, деполимеризацию резиста, диффузию мономера и процессы растекания. На этапе моделирования растекания слой резиста с полостями приближался сплошной пилообразной поверхностью, для которой в дальнейшем моделировалось растекание методом конечных элементов [2]. На рис. 2 приведены промоделированные профили, полученные методом СЭЛТР в слое полиметилметакрилата (ПММА) с начальной толщиной 500 нм. Температура образцов составляла 150 °С, плотность тока экспонирования на единицу длины линии – 30 пА. Результаты моделирования показали, что при правильном подборе остальных параметров процесса СЭЛТР (ширина пучка, время экспонирования, скорость охлаждения образца) в ПММА могут быть получены синусоидальные решетки с плотностью штрихов до 2000 1/мм и глубиной рельефа до 200 нм. При этом максимальное отклонение точек промоделированного профиля от графика функции синус составляет менее 5 нм. Синусоидальный рельеф, полученный в ПММА, в дальнейшем может быть покрыт металлом либо перенесен в металл путем травления в реакторе индуктивно связанной плазмы [1].

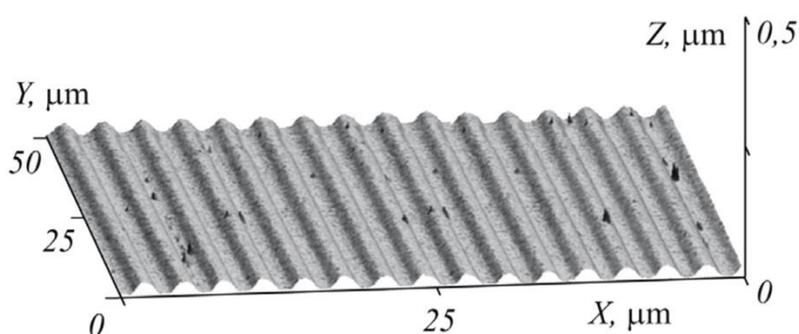
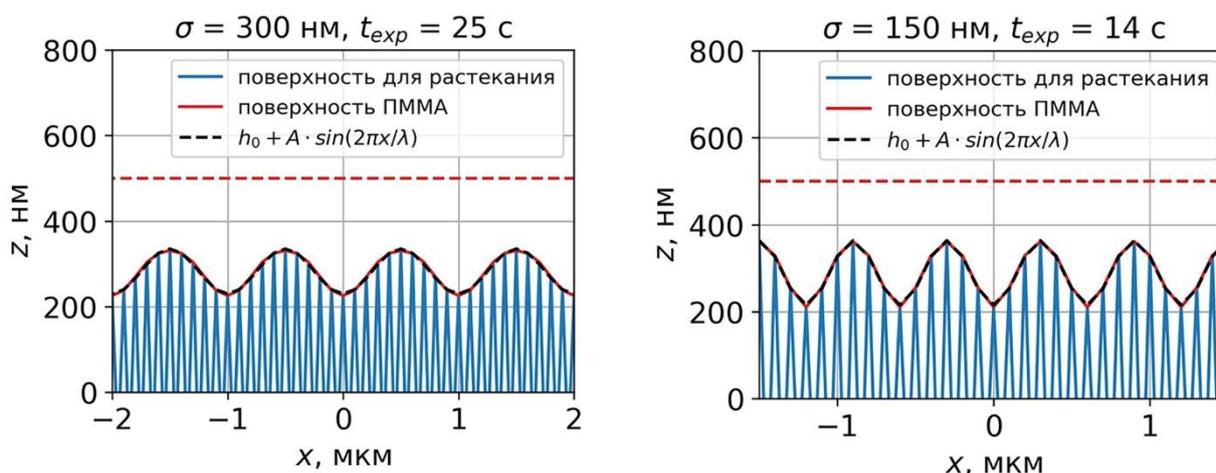


Рис. 1. Пример синусоидальной решетки, полученной в ПММА методом СЭЛТР [1].

Заключение

В данной работе моделируется применение метода СЭЛТР для получения в ПММА синусоидальных голографических решеток. Моделирование профиля решеток, получаемых при экспонировании “в кадр”, показало, что при правильном подборе параметров методом СЭЛТР могут быть получены решетки с плотностью штрихов до 2000 1/мм и глубиной рельефа до 200 нм.



а) Моделирование профиля синусоидальной решетки с периодом 1 мкм

б) Моделирование профиля синусоидальной решетки с периодом 0,8 мкм

Рис. 3. Результаты моделирования профиля синусоидальных решеток, полученных методом СЭЛТР в слое ПММА при различных условиях экспонирования.

Список источников

- [1] **М. А. Брук** Formation of micro- and nanostructures with well-rounded profile by new e-beam lithography principle / Bruk M. A., Zhikharev E. N., Rogozhin A. E., Streltsov D. R., Kalnov V. A., Averkin S. N., Spirin A. V. // Microelectronic engineering. – 2016. – V. 155. – P. 92-96.
- [2] **Ф. А. Сидоров** Моделирование процесса формирования микро-оптических структур методом термостимулированной электронно-лучевой литографии / Ф. А. Сидоров, А. Е. Рогожин // Сборник трудов по материалам VIII Международной конференции и молодежной школы (г. Самара, 23-27 мая). – 2022. – Т. 1.

Sinusoidal holographic grating fabrication by dry e-beam etching of resist

F. A. Sidorov, A. E. Rogozhin

Valiev Institute of Physics and Technology of RAS, Moscow, Russia

Dry e-beam etching of resist (DEBER) is a microfabrication technique based on thermal depolymerization of positive polymer resist during e-beam exposure at temperatures above glass transition, which provides direct profile formation right at the exposure stage. DEBER features include high-throughput formation of wave-like profile by resist exposure in parallel lines. DEBER simulation showed that appropriate exposure parameters allow one to obtain sinusoidal gratings in PMMA with number of lines per mm up to 2000 and profile depth up to 200 nm. The standard deviation of grating profile from sine function at the same time is below 5%.

Keywords: Thermal depolymerization of resist, Dry e-beam etching of resist, Holographic sinusoidal gratings.