

Рис. 6. Фазовая зонная пластинка из кремния на длину волн 0,83 нм.

ми чередующимися кольцевыми, прозрачными, поглощающими или преломляющими областями, параметры к-рых связаны соотношением

$$r_n = \sqrt{nF\lambda + n^2\lambda^2/4},$$

где r_n — радиус n -й кольцевой зоны; F — её фокусное расстояние.

Эффективность ЗПФ зависит от оптич. свойств материалов и формы профиля зоны, заполненной материалом. Оптим. толщина $t_{\text{опт}}$ поглощающего (преломляющего) слоя для бинарного (прямоугольного) профиля определяется из ур-ния

$$2 \sin\left(\frac{1}{\lambda} 2\pi\delta t_{\text{опт}}\right) + 2 \frac{\beta}{\delta} \cos\left(\frac{1}{\lambda} 2\pi\delta t_{\text{опт}}\right) = 2 \frac{\beta}{\delta} \exp(-2\pi\beta t_{\text{опт}}),$$

где β и δ — оптич. константы. Эффективность ЗПФ описывается ур-нием

$$\epsilon_1 = \pi^{-2} [1 + \exp(-\pi\beta/\delta)^2]$$

и для сильно поглощающих материалов, напр. Au при $\lambda > 1$ нм ($\beta \gg \delta$), не превышает π^2 . ЗПФ являются фазовыми, если изготовлены из материала с отношением $\beta/\delta < 0,1$. Так, для создания эффективных ЗПФ наилучшими свойствами обладают следующие хим. элементы: С (в интервале λ от 5,1 до 8,5 нм), Al (1,4—2,2 нм), Si (0,7—2 нм), Cu (0,4—0,5 нм), Ag (0,46—0,7 нм), Au (0,2—0,234 нм). На рис. 6 приведена фазовая ЗПФ из кремния.

Изображение, создаваемое ЗПФ, свободно от дисторсии, разрешение определяется размером последней зоны. Для создания ЗПФ применяют голографич. методы, а также электронно-лучевую литографию, плазмолит. травление, селективное хим. травление материалов и т. д. Технология создания ЗПФ включает получение тонких мембран из карбида и нитрида кремния, полиамида толщиной от долей мкм до неск. мкм. Радиус последней зоны должен составлять 1—2 мм с точностью до единиц нм. Размер последней зоны достигает 10 нм. В перспективе возможно создание киноформных ЗПФ со спец. формой профиля зоны (см. Киноформ).

Достоинства обычных ЗПФ — относит. простота их изготовления, возможность массового воспроизводства, относит. простота расчёта параметров структуры элементов. Недостатки — вязкие термич. и радиац. стойкости, ограничение рабочего диапазона длин волн ($\lambda \sim 0,5$ —1 нм), отсутствие возможности создания управляемых, переключаемых элементов, ограничения на апертуру и разрешение в связи с тем, что толщина

оптич. элементов много больше λ . В результате необходимости учёта эффекта объёмной дифракции предельное разрешение ЗПФ оценивается по ф-ле

$$b_{\text{мин}} = \sqrt{\lambda t_{\text{опт}}}$$

и составляет для разл. элементов от 50 до 100 нм.

Брэгг—френелевская оптика. Использование объёмной дифракции на многослойной или кристаллич. структуре с определ. формой поверхности или изменением периода отражающих плоскостей позволяет создать оптич. элементы, совмещающие высокое пространственное разрешение ЗПФ и высокое спектральное разрешение и механ. стабильность многослойных и кристаллич. структур. Идеальная брэгг-френелевская линза (БФЛ) — трёхмерная голограмма точки, представляющая собой систему эллипсоидов или параболоидов вращения границ трёхмерных зон Френеля (рис. 7). БФЛ обладает хроматич. aberrациями, фокусирует все длины волн, отражаемые решёткой, в одну точку. Однако такая система весьма трудна в реализации, т. к. требует создания очень точной формы поверхности кристалла или зеркала. Синтезированные БФЛ, обладая всеми свойствами объёмных БФЛ, позволяют использовать плоские кристаллы или многослойные зеркала. Совмещая объёмные зоны Френеля с идеальной объёмной решёткой, периодической или аperiодической, выделяя области, в к-рых положение границ системы объёмных зон Френеля и плоскостей решётки совпадают или отличаются не больше чем на четверть межплоскостного расстояния, получают структуру синтезированной БФЛ (рис. 7). Изменяя

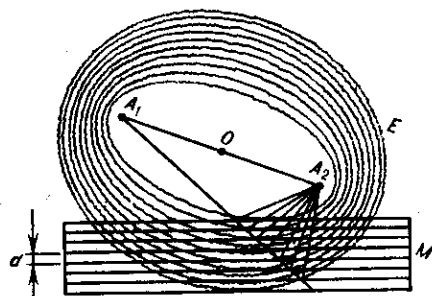


Рис. 7. Схема получения брэгг-френелевской зонной пластинки: A_1 и A_2 — когерентные источники; E — эллиптические изофазные поверхности; M — многослойная структура.

коэф. отражения или фазу рассеяния от зоны к зоне, можно получить эффект фокусировки, как и в случае плоской ЗПФ. Параметрич. ур-ния пространственной структуры БФЛ:

$$x = \frac{1}{\sqrt{1+k^2}} \left[a\xi\eta(1+k^2) - \frac{ak^2}{M_0} \right],$$

$$y^2 = a^2(\xi^2 - 1)(1 - \eta^2) - \left(ka\xi\eta - \frac{ak}{M_0} \right)^2,$$

$$z = \frac{ak}{M_0\sqrt{1+k^2}},$$

где k — тангенс наклона элемента к оптич. оси, M_0 — относит. коэф. увеличения системы, $2a$ — расстояние от объекта до изображения, $\xi > 1$ и $-1 < \eta < 1$ — параметры системы, $\xi = \xi_0 + \pi\lambda/4$, $\xi_0 = \sqrt{(1 + k^2/M_0^2)/(k^2 + 1)}$. Трёхмерные БФЛ изготавливаются из совершенных кристаллов или зеркал с МСП. Одномерные брэгг-френелевские элементы (БФЭ) с вариацией периода в объёме структуры являются дифракц. признаками. Управляя положением отражающих плоскостей БФЭ с помощью электр., оптич. и УЗ-сигналов, можно менять коэф. отражения и фазу отражённой