

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕШЕТОК-ПОЛЯРИЗАТОРОВ

© 2007 г. М. Ю. Знаменский; Я. К. Лукашевич, канд. техн. наук

НПО “Государственный институт прикладной оптики”, г. Казань

Рассмотрены возможности ионно-лучевой обработки в технологии изготовления поляризаторов для инфракрасной области спектра на основе нарезных дифракционных решеток на твердых подложках из хрупких материалов: германия, кремния, оптической керамики ПО-4 (селенид цинка). Приведены условия и режимы проведения операций и характеристики экспериментальных образцов решеток-поляризаторов. Указана перспективность использования приведенных операций в технологии получения дифракционных решеток для сжатия лазерных импульсов и в технологии создания поляризаторов на основе голограммных дифракционных решеток.

Коды OCIS: 050.1950.

Поступила в редакцию 07.09.2006.

Известно применение метода ионно-лучевой обработки в технологии изготовления решеток-поляризаторов для ультрафиолетовой области спектра [1]. В этом случае в качестве масок для получения регулярных структур (одномерных решеток) из металлических проводников служили голограммные дифракционные решетки, созданные путем экспонирования и обработки фоторезистивных слоев, нанесенных на прозрачную в необходимой спектральной области подложку.

Нами метод ионнолучевой обработки был применен при изготовлении решеток-поляризаторов на основе нарезных дифракционных решеток. По совокупности своих свойств нарезные дифракционные решетки обладают рядом преимуществ перед голограммными. Параметры профиля штрихов легко варьируются в широких пределах, грани штрихов имеют гладкую поверхность с ровными краями, что создает благоприятные условия для нанесения покрытия и образования линейных проводников решеток-поляризаторов нужной формы. Это было показано на примерах изготовления решеток-поляризаторов на репликах нарезных решеток из полимеров (оргстекло, фторопласт-32Л, полиэтилен), а также на достаточно пластичных кристаллах (фтористый кальций, фтористый барий, бескислородные стекла) [2–4]. Поляризационные характеристики таких решеток-поляризаторов выше характеристик аналогов, изготовленных на основе голограммных дифракционных решеток. Для них граница поляризационной восприимчивости находится в более коротковолновой области спектра, т. е. требуемая поляризующая способность достигается при меньшем отношении длины волны к шагу решетки. Однако при формовании штрихов в хрупких или поликристаллических материалах, например, в оптической керамике, возникают определенные затруднения в выполнении их правильной формы. Эти особенности отмечались в работе [5]. Вершины штрихов при

формовании скалываются и металлические проводники, образующиеся в результате последующего вакуумного осаждения на грани металлического покрытия “под углом” по методу, описанному в работе [6], получаются неоднородными.

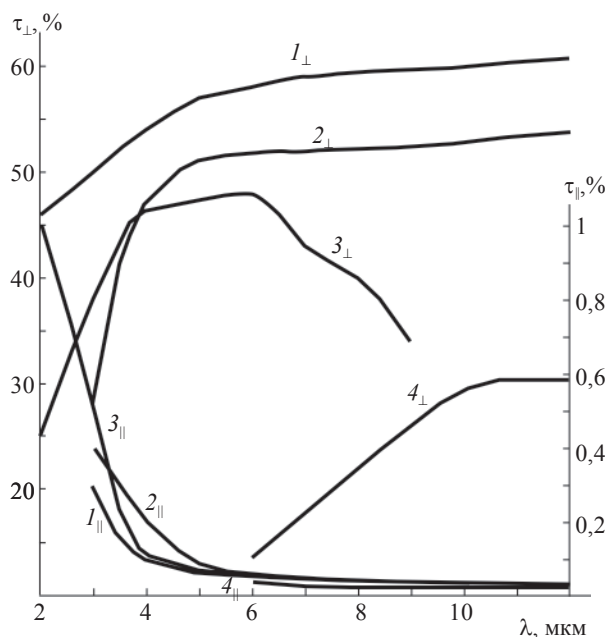
Ионно-лучевая обработка применялась нами в нескольких операциях процесса изготовления решеток-поляризаторов.

К числу вспомогательных операций можно отнести ионно-лучевую обработку поверхности перед нанесением штрихов, которая полезна как для пластичных, так и для хрупких материалов. Известно, что при обработке оптических поверхностей методами шлифовки и полировки в них образуется нарушенный, так называемый “трещиноватый”, слой [7], который при формовании штрихов методом вырезания алмазным резцом приводит к скалыванию их вершин. Ионно-лучевая обработка позволяет удалить “трещиноватый” слой полностью.

Другой вспомогательной операцией служило удаление слоя покрытия, конденсированного на прозрачных участках граней штрихов решетки-поляризатора. При осаждении металлического покрытия на поверхность подложки “под углом” материал покрытия частично конденсируется на прозрачных участках решетки, что приводит к снижению поляризационных характеристик решетки-поляризатора. Причиной этого могут быть повышенное давление остаточных газов в вакуумной камере или недостаточное экранирование этих участков из-за несовершенства профиля штрихов. Применение ионно-лучевой обработки в этом случае эффективно при изготовлении решеток-поляризаторов практически из всех материалов, используемых в качестве подложек, а также при изготовлении поляризаторов на основе голограммных решеток.

Наибольшая эффективность применения ионно-лучевой обработки проявилась при изготовлении решеток-поляризаторов на хрупких и поликристал-

лических материалах. Нами были изготовлены образцы решеток-поляризаторов на германиевых и кремниевых монокристаллических подложках, а также на подложках из оптической керамики ПО-4. Первые два материала очень хрупкие. Оптическая керамика ПО-4 представляет собой поликристаллический материал, состоящий из множества различным образом ориентированных кристаллов, поэтому полированная поверхность такого материала состоит из множества плоскостей различной ориентации. Направления наилучшего резания этих плоскостей [8] находятся под различными углами к направлению формирования штрихов решетки, в связи с этим штрихи у таких образцов получаются неоднородными в различных участках поверхности решетки и преимущественно со сколотыми вершинами. Это также имеет место и при неправильно выбранном направлении формирования штрихов в монокристаллических материалах. Начальным этапом формирования штрихов на поверхности таких материалов в наших экспериментах стало вырезание их в слое металла, нанесенного на поверхность, на которой формируется решетка. Таким металлом в основном служил алюминий, толщина слоя которого выбиралась в зависимости от пространственной частоты решетки. Так, для решеток с пространственной частотой $\nu = 2400 \text{ мм}^{-1}$ толщина слоя составляла 0,1–0,2 мкм, для $\nu = 1200 \text{ мм}^{-1}$ – 0,2–0,3 мкм. Штрихи формировались специально заточенным алмазным резцом, который имел бицилиндрическую форму либо с режущей кромкой, образованной пересечением бицилиндра с передней гранью резца, либо без режущей кромки [9]. При формировании штрихов слой маскирующего материала частично удалялся, а частично деформировался. Критерием оптимального выполнения штриха служило касание вершиной резца поверхности подложки в процессе формирования. Затем следовала ионно-лучевая обработка. Вторым вариантом состоял в неполном выполнении штрихов при формировании их непосредственно в материале подложки. На грани таких штрихов, которые имели недостаточную глубину, под малым углом к поверхности решетки осаждалось покрытие, образующее маску. Затем проводились ионно-лучевая обработка с целью углубления штрихов и последующее осаждение металлического покрытия “под углом” для образования решетки из линейных проводников. Для достижения высоких поляризационных характеристик выбирались мелкозернистые образцы оптической керамики ПО-4. В основном использовался метод реактивной ионно-лучевой обработки в среде четырехфтористого углерода [10]. Обработка проводилась с использованием источника ионов “Мир-100” при следующих режимах и условиях: напряжение разряда 2,5 кВ, ток



Спектральные характеристики пропускания перпендикулярной (τ_{\perp}) и параллельной (τ_{\parallel}) составляющих поляризованного излучения для решеток-поляризаторов на селениде цинка (I_{\perp} и I_{\parallel}), германии (2_{\perp} и 2_{\parallel}), кремнии (3_{\perp} и 3_{\parallel}); (4_{\perp}) и (4_{\parallel}) – характеристики, полученные авторами работы [5] на селениде цинка.

разряда 200 мА, рабочее давление 3×10^{-2} Па. В некоторых случаях для сглаживания поверхностей штрихов решетки перед нанесением металлического покрытия процесс ионно-лучевой обработки осуществлялся в атмосфере аргона, для увеличения стойкости алюминиевой маски и повышения селективности травления алюминиевый слой также подвергался процессу ионно-лучевой обработки в среде кислорода.

На рисунке приведены спектральные характеристики решеток-поляризаторов на оптической керамике ПО-4, германии, кремнии, изготовленных вышеописанным методом на основе нарезных дифракционных решеток с частотой штрихов 1200 мм^{-1} без просветляющего покрытия. Здесь же для сравнения приведены характеристики решеток-поляризаторов на оптической керамике (селенид цинка) [5]. При этом необходимо отметить, что авторам указанной работы удалось создать поляризаторы на основе нарезных дифракционных решеток с частотой штрихов только 600 мм^{-1} .

Наряду с этим, метод вакуумного осаждения металла на профилированную решетку “под углом” и последующая ионно-лучевая обработка оказались очень эффективными в проводимых нами работах по получению дифракционных решеток со штрихами, выполненными непосредственно в материа-

ле подложки. Ожидается, что такие дифракционные решетки после нанесения на них отражающего покрытия будут обладать высокой лучевой прочностью и могут быть применимы в фемто- и аттосекундных лазерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sowk G.J., Wagner D.K., Ballantyne J.M.* Optical polarizers for ultraviolet region // *Appl. Opt.* 1983. V. 22. № 9. P. 1270–1272.
2. *Bird G.R., Parrish.* The Wire Grid as a Near-Infrared Polarizer // *JOSA.* 1960. V. 50. № 9. P. 886–891.
3. *Яковлев Э.А., Герасимов Ф.М.* Поляризаторы инфракрасного излучения на основе прозрачных дифракционных решеток // *ОМП.* 1964. № 10. С. 28–34.
4. *Лукашевич Я.К., Стрежнев С.А., Герасимов В.П., Со-сновская Г.И.* Решетки-поляризаторы увеличенных размеров для ИК области спектра // *ЖПС.* 1983. Т. 38. № 1. С. 314–319.
5. *Young J.B., Graham H.A., Paterson E.W.* Wire Grid Infrared Polarizer // *Appl. Opt.* 1965. V. 4. № 8. P. 1023–1026.
6. *Орел У.Р.* Нанесение металлического покрытия на решетки-поляризаторы // *ОМП.* 1972. № 4. С. 33–34.
7. *Черезова Л.А.* Модификация поверхности оптических материалов ионной и ионно-химической обработкой // *Оптический журнал.* 2000. Т. 67. № 10. С. 3–8.
8. *Шубников А.В.* Основы кристаллографии. М.–Л.: Изд-во Акад. наук СССР. 1940. 488 с.
9. *Герасимов Ф.М., Яковлев Э.А.* Дифракционные решетки. Современные тенденции в технике спектроскопии. Новосибирск: Наука, 1982. 70 с.
10. Плазменная технология в производстве СБИС / Под ред. Айнспрука А., Брауна Д. М.: Мир, 1987. 469 с.