

# ОПТИКА МОЩНЫХ ЛАЗЕРОВ: УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

И. Граф, М. Шахт,  
Laser Components, Германия

Поляризаторы, способные выдерживать высокие плотности мощности лазерного излучения, требуют создания диэлектрических покрытий с особыми параметрами. В статье рассматриваются преимущества и недостатки методов напыления тонких и многослойных диэлектрических пленок на оптические компоненты, а также показана возможность изготовления нестандартных оптических деталей.

Новые технологические возможности ведут к появлению уникальных оптических приборов. К покрытиям, применяемым в мощных лазерных системах, предъявляют более жесткие требования на соответствие спецификации и надежности при эксплуатации в условиях варьирования температур. Сочетание разных методов напыления диэлектрических оптических покрытий приводит к улучшению их свойств.

## ИОННО-ЛУЧЕВОЕ РАСПЫЛЕНИЕ

В последние годы для нанесения покрытий на оптические элементы активно используют установки ионно-лучевого распыления материала, особенно при создании прецизионных покрытий. Оригинальные тонкопленочные покрытия на оптических элементах получают методом ионного напыления (IAD — Ion-Assisted Deposition). В процессе осаждения материала на подложку

потоками низкоэнергетичных медленных ионов толщину покрытия подвергают особому постоянному оптическому контролю. Требуемая толщина пленки может быть выдержана очень точно благодаря низкой скорости нанесения и высокой воспроизводимости, присущей этому методу. Более того, метод IAD используют для создания очень плотных покрытий, не чувствительных к температурному дрейфу и имеющих низкое рассеяние света. Однако такой метод напыления имеет и большой недостаток, хотя он является продолжением его достоинств, — слишком малую производительность — к тому ведет низкая скорость роста пленок.

## НАГРЕВ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Электронно-лучевое распыление в сравнении с ионно-лучевым обладает более высокой скоростью осаждения и широко используется в установках по нанесению покрытий. Метод заключается

в использовании электронного пучка для нагрева мишени и последующего ее испарения в вакууме. В общем случае производительность метода выше и, соответственно, стоимость продукции оказывается дешевле. Кроме того, стойкость покрытий (порог разрушения) оказывается очень высокой\*. Что важно, например, при создании покрытий для элементов, используемых при генерации и транспортировке наносекундных лазерных импульсов с большой энергией. Еще одно уникальное преимущество установок, использующих метод электронно-лучевого распыления, заключается в том, что в камере можно одновременно напылять покрытия с разными свойствами, например: просветляющие, светоделительные для разных длин волн. Покрытия, обеспечивающие селективные свойства для разных длин волн, получают в одной камере, располагая подложки под

\* Exarhos G., Ristau D., Soileau M., Stolz C. Laser-Induced Damage in Optical Materials. — Proc. SPIE, 2008, v.7132.

разными углами таким образом, что вариации угла напыления ведут к варьированию толщины покрытий. Недостатки метода также известны – это чувствительность характеристик пленок к изменениям температуры и относительно невысокие точность и воспроизводимость процесса при нанесении многослойных покрытий.

### МЕТОД ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПОДЛОЖКИ ИОНАМИ С НИЗКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Для получения компактных и стабильных покрытий, снижения температурной зависимости параметров пленок камеры могут быть оборудованы высокопроизводительными ионными источниками. В этом случае подложка с выращиваемым слоем дополнительно облучается пучком ионов с низкой энергией (метод IAD) для увеличения энергии осаждаемых молекул, что приводит к уплотнению выращиваемой пленки. В результате осажденные слои обладают значительно улучшенными механическими и термическими свойствами, приближающими их к пленкам, полученным ионным распылением. Такие покрытия устойчивы к внешним воздействиям, что гарантирует им сохранение характеристик, указанных в спецификации, при изменении условий эксплуатации.

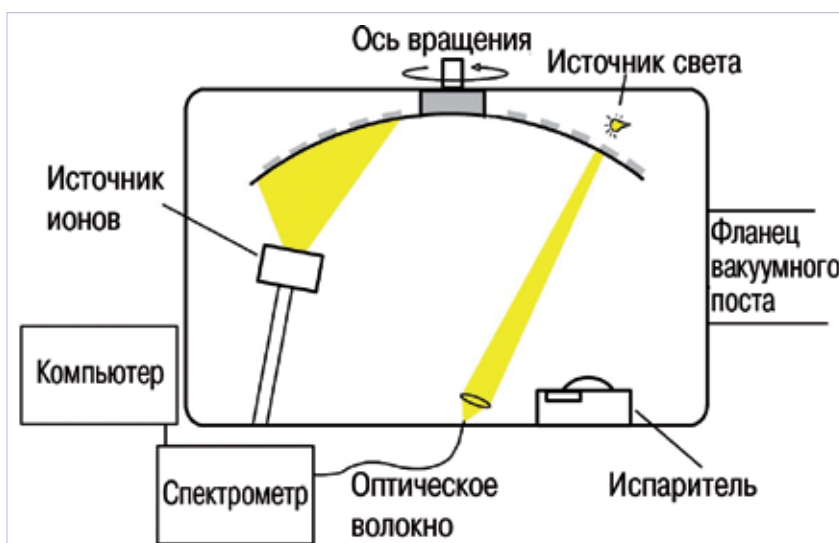


Рис.1. Схема контроля процесса напыления диэлектрических оптических пленок

### КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ СЛОЕВ В МНОГОСЛОЙНОМ ПОКРЫТИИ

Для достижения требуемой точности изготовления пленок и воспроизводимости результатов напыления установки необходимо оснащать инструментами измерения толщины получаемых слоев (рис.1). Хорошо известны такие методы контроля толщины покрытия, как контроль с помощью монохроматического излучения или с помощью кварцевых резонаторов. Последние помещаются вблизи подложки. При измерении толщины с помощью монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda$  достигаемая точность измерений

составляет четверть длины волны с поправкой на коэффициент преломления измеряемого оптического слоя (или кратно ей при получении многослойной структуры).

При использовании широкополосного источника света (рис.1) для контроля толщины можно наблюдать спектр опорных длин волн, определяемых в общем случае разрешением спектрометра. Число контрольных точек при данном методе может быть увеличено до 1000, это, естественно, повышает точность измерений толщины пленки. Данный метод контроля дает возможность измерять осаждаемую пленку произвольной толщины

ны и в произвольной комбинации слоев.

Совмещая такой способ контроля толщины с уплотнением пленки ионным пучком, можно, сочетая преимущества электронно-лучевого метода нагрева мишени с преимуществами метода ионно-лучевого распыления, производить подложки с улучшенной спецификацией. Например, тонкопленочный поляризатор. Такие поляризаторы используют для разделения по поляризации мощных импульсных лазерных пучков. Для работы поляризатора необходимо, чтобы излучение падало на него под углом Брюстера (около 56 градусов к нормали для конкретного материала). Та доля излучения падающего пучка, которая имеет р-поляризацию, проходит через поляризатор, в то время как s-поляризованная доля излучения – отражается (рис.2).

Одной из важных характеристик поляризатора является отношение интенсивностей прошедшего р-поляризованного пучка к прошедшему s-поляризованному излучению  $T_p/T_s$ . Чем выше это соотношение, тем лучше. Laser Components указывает в документации, сопровождающей его продукцию, значение  $T_p > 95\%$  и  $T_p/T_s > 100:1$ , включительно до 300:1. Важно отметить, что на практике для до-

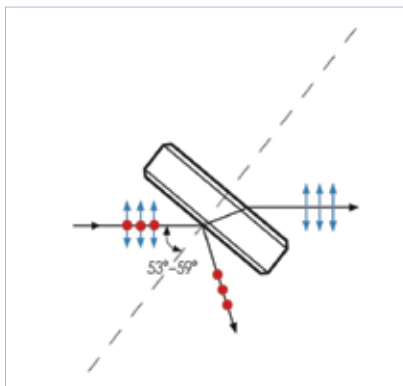


Рис.2. Принцип работы тонкопленочного поляризатора: р-поляризованное излучение проходит через поляризатор, s-поляризованное излучение – отражается

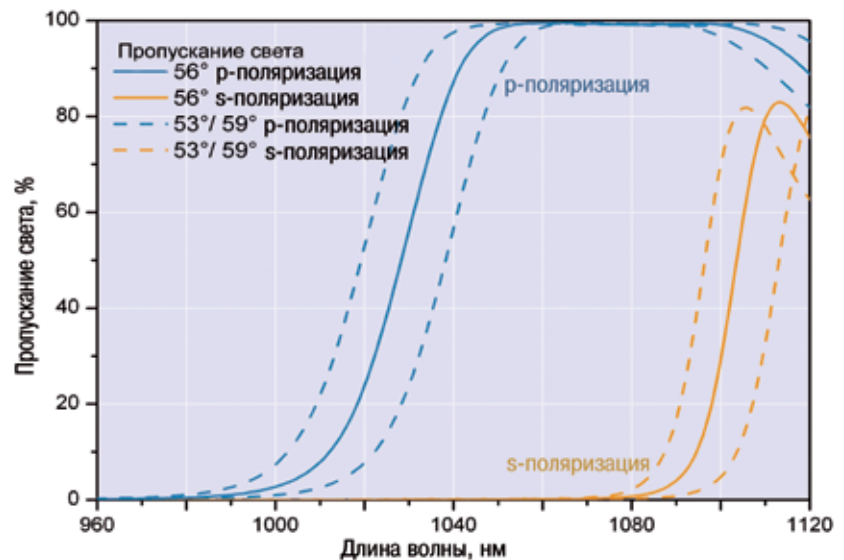


Рис.3. Спектральные характеристики ТФРВ-поляризатора широкополостного для стандартных длин волн

стижения таких значений требуется точно установить угол падения излучения на оптическую плоскость, юстируя его в диапазоне от 53 до 59 градусов к нормали к поверхности.

TFPB-поляризатор, производимый Laser Components методом напыления слоев под широкополосным мониторингом, позволяет применять его при работе с широким рабочим углом падения излучения. Такой поляризатор удовлетворяет условию спецификации при установке под любым углом к падающему излучению в диапазоне 53–59°, и при этом производитель гарантирует, что соотношение  $T_p/T_s > 300:1$ . TFPB поляризатор может работать с расходящимися лучами или в диапазоне длин волн, близких к центральной длине волны. Например, поляризатор, настроенный на центральную длину волны  $\lambda=532$  нм, можно использовать в диапазоне  $\Delta\lambda=532 \pm 10$  нм, для  $\lambda=1064$  нм – в диапазоне  $\Delta\lambda=1064 \pm 25$  нм (рис.3). TFPB-поляризатор – широкополосный, его выпускают для всех стандартных длин волн, начиная с  $\lambda=355$  нм и заканчивая  $\lambda=1064$  нм. Также в Laser Components принимают заказы на изготовление поляризаторов излучения нестандартных длин волн.

Установка тонкопленочного TFPB-поляризатора не требует юстировки. Кроме него в Laser Components могут быть изготовлены другие приборы со сложным покрытием, выдерживающим высокую плотность мощности лазерного излучения. Например, зеркала с отрицательной дисперсией – чирпированные зеркала. Такие зеркала используются для компенсации временного уширения импульса в лазерных системах, генерирующих ультракороткие импульсы. У фирмы большой опыт изготовления светоделительных пластин, нечувствительных к поляризации излучения, широкополосных зеркал, тонкопленочных поляризаторов с рабочим углом падения излучения 45 градусов, оптических фильтров под спецификацию заказчика.

## ИСТОРИЯ "МИЛЛИОНА"

Латинское mille означает тысяча. Слово миллион впервые было введено Марко Поло при описании богатства Китая для обозначения «большой тысячи», т.е.  $1000^2$ . Первоначально оно являлось названием конкретной меры – 10 бочонков с золотом.

Н. Александрова