

УДК 681.7.064.454

***ПРИМЕНЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ В  
ФОТОТЕХНИКЕ***

***Захаров О.А.***

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и химия»,  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и  
строительства»,  
г. Пенза, Россия*

***Филинова М.И.***

*студентка группы 21СУЗС1,  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и  
строительства»,  
г. Пенза, Россия*

**Аннотация:** в статье рассматривается принцип действия просветляющего покрытия, приводится обоснование применения антибликовых покрытий в фототехнике, выявляются основные проблемы их практического применения, предлагается метод увеличения эксплуатационного срока просветляющего покрытия.

**Ключевые слова:** просветляющее покрытие, фототехника, антибликовое покрытие, укрепляющее покрытие, защитный слой, диоксид кремния.

***APPLICATION AND PROBLEMS OF ANTI-REFLECTIVE COATING IN  
PHOTOGRAPHIC EQUIPMENT***

***Zakharov O.A.***

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Physics and  
Chemistry»,  
Penza state University of architecture and construction,  
Penza, Russia*

***Filinova M.I.***

*student of group 21SUZS1,*

*Penza state University of architecture and construction,*

*Penza, Russia*

**Abstract:** The article discusses the principle of operation of the anti-reflective coating, provides a justification for the use of anti-reflective coatings in photographic equipment, identifies the main problems of their practical application, proposes a method of increasing the service life of the anti-reflection coating.

**Key words:** anti-reflective coating, photographic equipment, strengthening coating, protective layer, silica.

Оптические поверхности с малым показателем коэффициента отражения находят активное применение в фототехнике - современные объективы производятся с применением технологий просветления оптики. Стремительное развитие фототехники и широкий диапазон ее использования определяют актуальность темы. Получение наиболее контрастного и яркого изображения, с сохранением свойств антибликового покрытия, остается одной из главных проблем этой индустрии.

Просветление оптики – процесс, являющийся результатом интерференции, нацеленный на получение оптического покрытия, обладающего минимальным коэффициентом отражения [1]. Строго говоря, такое покрытие позволяет избежать бликов на используемой плоскости (в фототехнике такой плоскостью является поверхность линзы). Антибликовое покрытие получают путем нанесения на поверхность стекла (или акрила) одного или нескольких слоев тонкой пленки.

Наименьшая толщина покрытия определяется выражением:

$$d = \frac{\lambda}{4 \times n} \quad (1)$$

где  $\lambda$  - длина волны света, падающего на просветленную линзу;

$n$  – показатель преломления линзы,

причем показатель преломления самой пленки  $n_0$  должен быть меньше показателя преломления линзы  $n$ . Соотношение величин (для однослойного покрытия, внешняя среда - воздух) этих показателей определяется по формуле:

$$n_0 = \sqrt{n} \quad (2)$$

Из выражения (1) видно, что требуемая минимальная толщина пленки равна четверти длины волны падающего света. При выполнении этого условия, отраженные световые волны интерферируют в противофазе и гасят друг друга, таким образом наблюдается ослабление интенсивности отраженного света и усиление интенсивности проходящего [2, 3]. Чем больше разность показателей, тем сильнее ослабляется отраженный свет.

В объективах же используют систему оптических линз, из-за этого становится проблематично пропустить достаточно света для получения яркого изображения. В ходе повторного прохождения/преломления лучей в объективе без антибликовых покрытий потери на отражение могут составлять порядка 50-70%, в зависимости от количества линз. Данная проблема требует использования мультипросветления – применение нескольких линз с многослойным просветляющим покрытием, способным пропускать в совокупности практически весь спектр видимого излучения. Такое свойство достигается путем подбора толщины пленки, что позволяет сдвинуть минимум отражения в различные участки спектра и, в системе из нескольких слоев, увеличить спектральную ширину пропускания. Помимо проблемы светопропускания, с помощью антибликовых покрытий решается проблема диффузного отражения света, которая приводит к уменьшению контрастности, яркости и четкости изображения. Диффузное отражения света – явление, при котором происходит отражение света во всех направлениях, приводящее к рассеянию света в пространстве.

Объективы современных фотоаппаратов содержат множество линз, однако одна из них – внешняя, подвергается наибольшему воздействию со стороны среды (воздуха). В результате нахождения в различных погодных условиях, при взаимодействии с влагой и химическими элементами, входящими в состав воздуха, происходит постепенное изменение качественных характеристик объектива. Кроме того, разрушительным для тонких антибликовых пленок становится механическое воздействие. При попадании абразива на поверхность покрытия (и дальнейшем механическом воздействии на линзу) наблюдается его разрушение. Данные проблемы препятствуют эксплуатации объективов и нуждаются в решении.

На текущий момент пользователи фототехники защищают линзы объективов путем применения дополнительных съемных УФ-фильтров (ультрафиолетовые фильтры, имеющие простую конструкцию и состоящие из оправы и стекла с просветлением). Такая конфигурация, расширяя оптическую схему, дает проигрыш в цветопередаче и качестве получаемого изображения.

Одним из методов увеличения долговечности просветляющих покрытий, без изменения характеристик получаемого изображения, является нанесение верхнего, укрепляющего слоя. Подобная технология уже применяется в производстве очковых линз и значительно увеличивает их срок службы. Помимо защиты от царапин и истирания, такое многофункциональное покрытие позволяет защитить оптику от грязи, обеспечить пыле- влаго- защиту и придать антистатические свойства.

Пример такого укрепляющего слоя – фторсодержащее покрытие (fluorine coat). Такой вид покрытия или другие полимерные покрытия создают защитный слой без изменения характеристик антибликового слоя – коэффициента отражения и пропускания света, что позволяет использовать его в фототехнике.

Еще одним примером защитного покрытия служит так называемое жидкое стекло - состав, содержащий диоксид кремния. Этот материал обладает высокой прочностью и твердостью, отличается наличием олеофобных частиц, не имеет

запаха и цвета. Прозрачная нанопористая пленка проявляет свойства просветляющих покрытий - при одностороннем или двухстороннем однослойном нанесении наблюдается увеличение светопропускания. При покрытии в интервале длин волн 400 – 800 нм (от 400 нм), что соответствует видимому спектру излучения, максимум светопропускания ( $\lambda \approx 500$  нм) составляет порядка 93-99% (в зависимости от добавок и скорости нанесения покрытия – чем быстрее наносят укрепляющий слой, тем он тоньше, а толщина, в свою очередь, обуславливает смещение максимума и минимума светопропускания в различные участки спектра), минимум ( $\lambda \approx 1100$  нм) – 83-93%. В то время как стекла без покрытия имеют максимум и минимум светопропускания 91% ( $\lambda \approx 500$  нм) и 82% ( $\lambda \approx 1100$  нм) соответственно. Зависимость светопропускания от длины волны представлена на рисунке 1 [4].

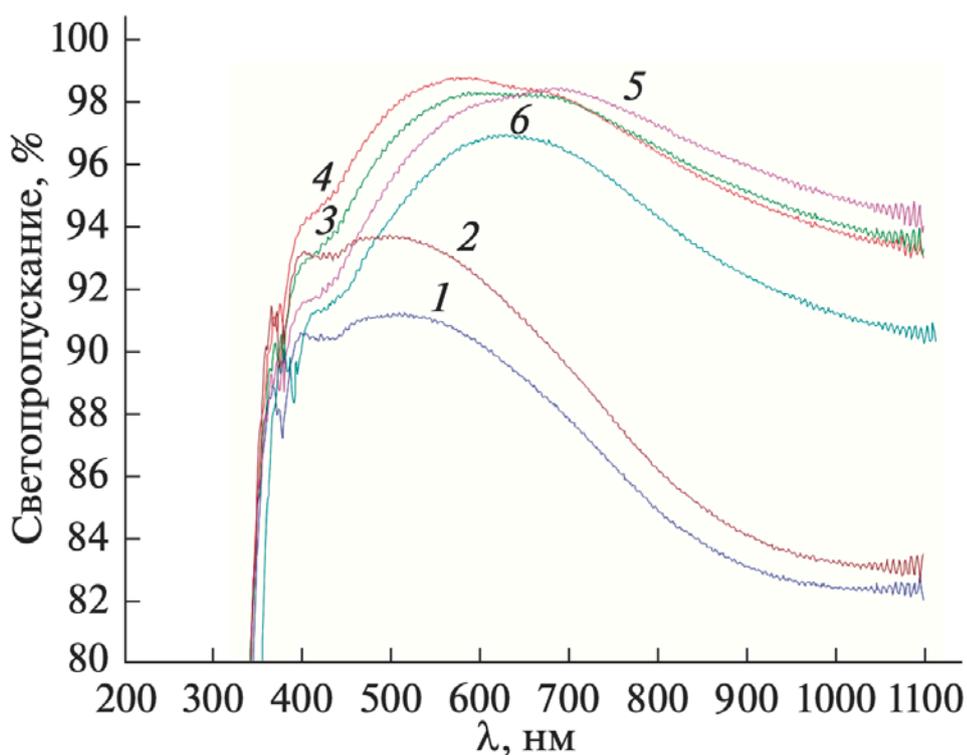


Рис. 1 - Светопропускание стекол без покрытия из диоксида кремния (1) и с покрытием (2-6), в зависимости от скорости его нанесения – от меньшего к большему, соответственно порядковому номеру

В интервале длин волн 500-1100 нм наблюдается увеличение светопропускания для стекла с покрытием, в среднем, на 6,5-8%, что обусловлено наличием в составе покрытия примесей, поглощающих свет.

Применение антибликовых покрытий (как однослойных, так и многослойных), принцип действия которых основан на взаимном гашении отраженных интерферирующих волн, обусловлен требуемыми характеристиками получаемого изображения – яркость, контрастность и четкость. Их относительная хрупкость приводит к потребности в защите – применению укрепляющего слоя. С использованием описанных в статье методов защиты линз, эксплуатируемых в современной фототехнике, можно расширить сферы практического применения объективов, облегчить их эксплуатацию и увеличить срок службы. Кроме того, дальнейшее изучение покрытий и их свойств позволит выявить наиболее оптимальную конфигурацию просветляющего и защитного слоев, которая повысит качественные характеристики оптических систем, находящих применение в фототехнике.

#### **Библиографический список:**

1. Гребенщиков, И. В. Просветление оптики / И. В. Гребенщиков, А. Г. Власов, Б. С. Непорент. — М.: ОГИЗ Гостехиздат, 1946. — 88 с.
2. Крылова, Т. Н. Интерференционные покрытия. Оптические свойства и методы исследования. / Т. Н. Крылова. — Л.: Машиностроение, 1973. — 224 с.
3. Розенберг, Г. В. Оптика тонкослойных покрытий / Г. В. Розенберг. — М.: Физматиздат, 1958. — 560 с.
4. Свойства просветляющих покрытий из нанопористого диоксида кремния на силикатном стекле в зависимости от скорости нанесения покрытий методом погружения / Б. Б. Троицкий, А. А. Локтева, М. А. Новикова, М. А. Лопатин // Физика и химия стекла. – 2020. – Т. 46. – № 3. – С. 313-322.

*Оригинальность 84%*