

*Дорожкин Андрей Петрович,*

*Аспирант кафедры информационной безопасности сервиса института*

*электроники и светотехники*

*ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»*

## **РАДИОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ, МЕТОДЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ В ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ СОСТАВЫ**

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются методы получения радиозащитных пленок, применение данных пленок, состояние науки в области энергосберегающих и радиозащитных покрытий, внедрение наночастиц в плёнкообразующие составы.

**Ключевые слова:** наночастицы, радиозащитные материалы, спектры поглощения.

**Annotation:** This article discusses the methods of obtaining radioprotective films, the use of these films, the state of science in the field of energy-saving and radioprotective coatings, the introduction of nanoparticles in film-forming compositions.

**Key words:** nanoparticles, radioprotective materials, absorption spectra.

**Введение.** В последние годы в мире повсеместно используются спутниковая радиосвязь, ретрансляционные станции, приемные и передающие антенны, расположенные на окнах различных помещений и балконах жилых домов и установленные на промышленных зданиях и сооружениях комплексов различного назначения (спортивных и культурно-просветительных) [1].

По данным медиков, наиболее восприимчивым к воздействию электромагнитного излучения являются нервная, иммунная, эндокринная и половая системы организма человека. Биологический эффект влияния, аккумулирующийся на продолжительных отрезках времени, может привести к серьезным поражениям, отклонениям от норм и заболеваниям.

На биологическую восприимчивость от воздействия электромагнитного излучения влияют: интенсивность поля, частота излучения и его длительность. Защита от воздействия электромагнитного облучения может быть обеспечена размещением радиоотражающих или радиопоглощающих элементов - экранов.

В частности радиозащитное остекление настоятельно рекомендуется использовать в жилых и общественных зданиях, особенно в школах, дошкольных учреждениях, больницах и лечебно-оздоровительных заведениях.

#### **Основная часть статьи. Методы получения радиозащитных пленок.**

Технология создания радиозащитных пленок заключается в следующем: исходные пленкообразующие соли (хлориды, нитраты, и др.) необходимых металлов растворяют в растворителе. Далее, полученный раствор в мелкодисперсном состоянии распыляют на горячую поверхность материала [2].

На горячем материале растворитель нагреваясь - испаряется, а соль взаимодействуя с парами воды, вступает в реакцию высокотемпературного гидролиза. Твердые оксиды металлов и различные газообразные вещества являются продуктами этой реакции. Оксиды конденсируются и осаждаются на поверхности материала, образуя тем самым на нем пленку, а также частично диффундируя в поверхностный слой материала, прочно на нем закрепляется.

Этот прием применяется в двух исполнениях. По первому холодный материал (например, стекло или выполненное изделие) доводят до температуры, при которой еще не происходит его деформация, и покрывают пленкообразующим жидким раствором. Температура нагревания зависит от химического состава стекла и составляет 600 - 750 °С. Длительность нагревания назначают таким образом, чтобы исключить деформацию изделия. Нанесения растворителя ведут в камере пленкообразования 15 - 20 с, и как правило, только одной стороны изделия. Камера пленкообразования обеспечена вентиляцией, которая удаляет газы. Распылители обычно располагают в камере статично или

им придается малое перемещение в вертикальной плоскости для более однородного распределения раствора. Обработанное изделие удаляют из камеры пленкообразования и проводят охлаждение на воздушной среде или обдувают воздухом повышенного давления, с целью получения закаленных изделий.

Состояние поверхности изделий подвергается тщательному анализу. Изделия специально выбирают с бездефектной поверхностью, очень тщательно омывают теплой и горячей водой. В случае, если поверхность изделия сильно загрязнена, то ее дополнительно очищают слабым раствором соляной кислоты. Отмытое изделие перед термообработкой протирают чистой салфеткой, смоченной этиловым спиртом. Размер обрабатываемого стекла может достигать размеров  $2000 \times 1000$  мм. Этот способ нанесения пленок достаточно известен и распространен, как в нашей стране, так и за рубежом при производстве, например, технических стекол.

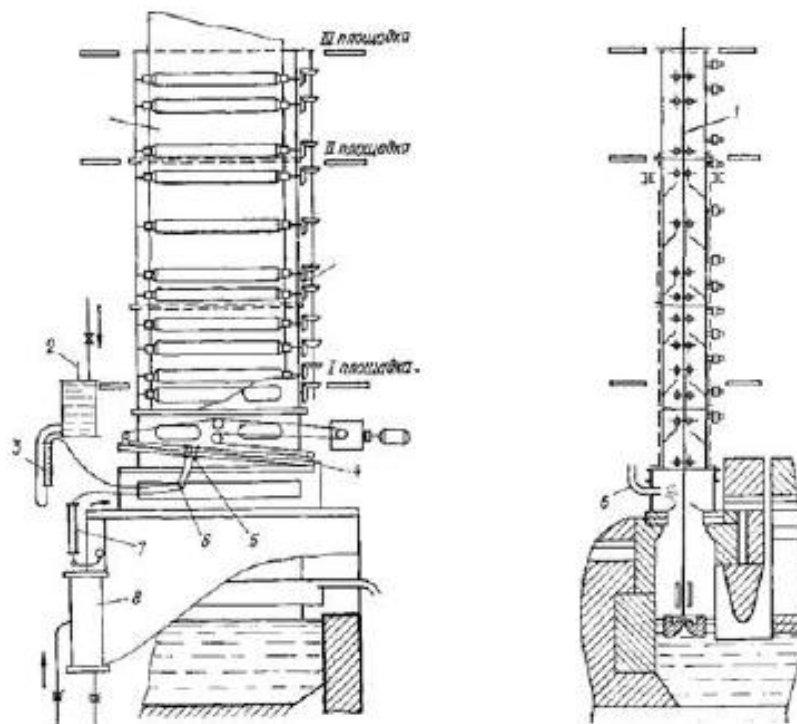


Рисунок 1 – Схема машины ВВС с установкой для нанесения пленкообразующих: I — лента стекла; 2 — емкость с пленкообразующим раствором; 3 — расходомер для раствора; 4 — линейка, несущая каретку; 5 — каретка с форсункой для распыления раствора; 6 — форсунка; 7 — расходомер для воздуха; 8 — фильтр для воздуха.

При производстве, например, строительных стекол лучше и целесообразней оксидно-металлические пленки покрывать другим способом, сразу на получаемую горячую свежееотформованную поверхность стекла в машинах вертикальной (ВВС и БВВС) выработки (рисунок 1).

При таком способе нанесения раствора на изделие в процессе ее формования в установке ВВС раствор диспергируют в области соединительного звена машины ниже первой пары валиков, так как лента стекла в этой области имеет температуру около 600 - 650 °С, т. е. вполне приемлемую для пленкообразования. Раствор наносят с помощью простого механизма на каретке, несущий диспергатор и передающий ему возвратно-поступательное возмущения поперек ленты стекла со скоростью 25 - 30 м/мин.

Машина вертикального вытягивания стекла (ВВС) расположена над выработочной камерой. Машина ВВС представляет собой чугунную шахту прямоугольного сечения, состоящую по высоте из четырех-пяти секций, жестко скрепленных между собой болтами. Машина подвешена на каркасе, не связанном с каркасом печи. Шахта расположена вертикально по оси подмашинной камеры на кронштейнах, опирающихся на металлические балки несущей конструкции. В кронштейны ввернуты болты с резьбой и контргайками, при помощи которых регулируется вертикальное положение машины. Кронштейны обычно крепятся к третьей (снизу) секции машины. К несущим опорам машин не разрешается крепить обвязку мостов, каналов и других деталей печного строения, так как это будет выводить машину из вертикального положения при каждом обновлении ленты стекла.

Между подмашинной камерой и машиной ВВС в нижней секции машины размещено чугунное соединительное звено. Оно прикреплено к шахте машины и плотно заделано в кирпичную кладку над кронштейнами. Соединительное звено расположено на двух козырьках, образуемых мостом и карнизом торцевой стены подмашинной камеры, между которыми оставлена щель 150 - 200 мм. В торцах его расположены съемные крышки, разделенные на три секции. В средней секции устроено смотровое окно для наблюдения за лентой.

Две другие секции служат для обслуживания машины во время обновления ленты. Во время работы машины окно обычно закрывают стеклом во избежание подсоса воздуха в шахту. В зависимости от вырабатываемой ширины ленты стекла применяют машины разных типов (таблица 1).

Таблица 1 – Техническая характеристика машин ВВС

Показатель	ВВС-2АМ	ВВС-2-5,5	ВВС-2,5-7,8	ВВС-3А
Ширина ленты стекла без бортов, мм	2000	2000	2500	3000
Количество валиков, пары	31	14	14	31
Диаметр валиков, мм	150	150	180	180
Мощность электродвигателя, кВт	1,5	1,6	1,6	4,5
Высота машины, мм	12000	5500	5500	12000
Масса машины, т	33,1	15,7	20,5	43,5

### **Применение радиозащитных пленок.**

Формирование изделий и стекол с требуемыми свойствами способом нанесения на их поверхность пленочных покрытий сравнительно новое, перспективное направление в стекольной промышленности. Одним из главных из его достоинств является возможность реализовывать изделия со специальными техническими характеристиками на основе стекол обычных промышленных химических составов [2].

В настоящее время на этой основе реализована серия современных радиозащитных строительных и технических стекол. Пленочные покрытия на стекле могут быть различного химического состава. Наибольший интерес для технических стекол представляют металлические и оксидно-металлические покрытия.

Металлические нанесения на стекла, как и при создании зеркал, наносят испарением соответствующего металла в вакуумной среде.

Оксидно-металлические пленки в отличие от металлических в связи с особой технологией их нанесения имеют большую механическую прочность и

химическую стойкость. Они надежно закрепляются на поверхности изделия, при этом увеличивая прочность самого изделия на 20— 30 % и более в зависимости от технологических параметров. Увеличение прочности стекла объясняется главным образом защитой его поверхности от разрушающего воздействия внешней атмосферы и влаги, а также залечиванием микротрещин, которые являются центрами разрушения незащищенного стекла.

Радиозащитные прозрачные бесцветные стекла могут быть выполнены на основе оксидов олова, индия и других металлов. Важное условие для радиозащиты - низкое удельное сопротивление  $10 \text{ ом/см}^2$ . Такие пленки отражают значительную часть (до 20 - 40 %) воздействующей на них электромагнитной энергии радиодиапазона (длины волн 1 - 150 см) (рисунок 2). Радиозащитные стекла используют для биологической защиты от вредного излучения энергии сверхвысоких частот (СВЧ).

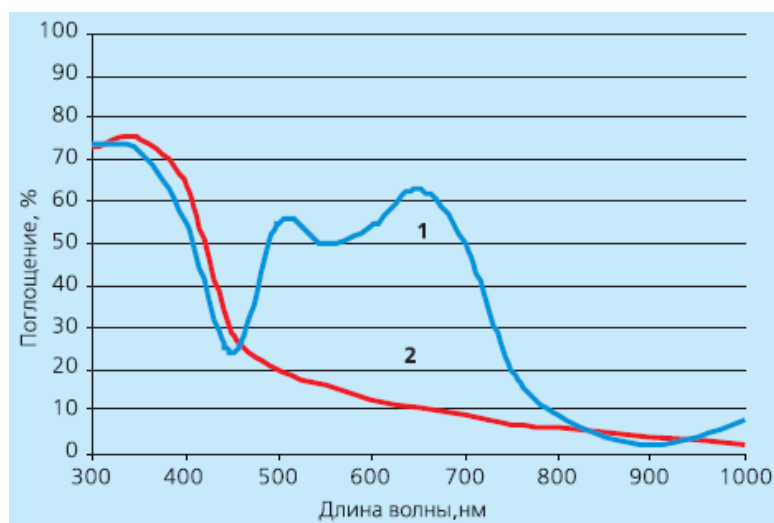


Рисунок 2 – Спектры поглощения оконного стекла, легированного CaO (1) и имплантированного ионом  $\text{Co}^+$  при дозе  $D = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  (2)

### **Состояние науки в области энергосберегающих и радиозащитных покрытий.**

В наши дни во всем мире все больше внимание уделяется разработке энергосберегающих и радиозащитных покрытий в строительной и транспортной областях (включая летательные аппараты) индустрии. Такими

покрытиями могут являться оптически прозрачные токопроводящие покрытия [3].

Приоритетное направление деятельности (ПНР-1) Мордовского государственного университета — «Энергосбережение и новые материалы» определяет инновационный характер развития. Инновация — постоянное, системное использование достижений науки для создания новейших технологий и изделий. Одним из условий инновации становится постоянное пополнение знаний об этих достижениях. Однако простое накопление знаний само по себе не приводит к цели. Нужна система достижения цели.

Для эффективного производства пользующихся спросом изделий оказываются связанными различные цели: потребности людей, потребности государства, потребности производства этих изделий. В условиях конкуренции одним из необходимых условий эффективного производства становится создание принципиально новых изделий, новых качеств и свойств изделий, создающих новые потребности у потребителей, что требует новых технологий производства [4].

Некоторые проблемы, такие как - технологические, материаловедческие и методологические, обусловленные созданием и изготовлением таких покрытий на изделиях, до сих пор не решены. Например, достаточно мало изучено воздействие тепловых процессов на электрофизические и оптические свойства, а также на микроструктуру однослойных ИТО-покрытий, которые представляют наибольший интерес как наиболее дешевые и простые в изготовлении (рисунок 3).

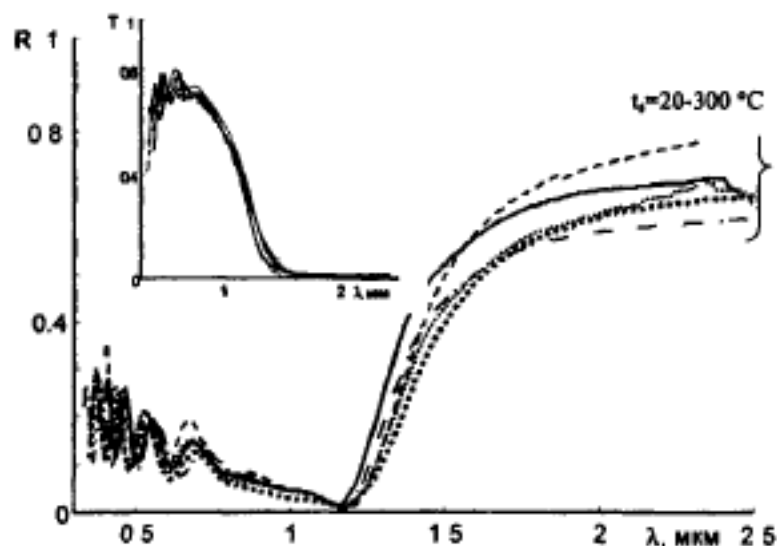


Рисунок 3 – Спектры пропускания и отражения ИТО-покрытий после отжига

Также, в доступной литературе до сих пор нет достаточного освещения вопроса проблемы влияния микроструктуры металлодиэлектрических покрытий на их электрофизические и оптические свойства. Знание об этом, позволило бы в будущем улучшать характеристики таких покрытий на основе одних и тех же выбранных материалов. Актуальность исследований энергосберегающих покрытий обусловлена, в первую очередь, с необходимостью проведения реформы в области жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Также, результаты исследований энергосберегающих покрытий важны с позиции возможности двойного функционального применения таких покрытий. Имея высокую статическую электропроводимость, такие покрытия не только снижают теплотери, но обладают и радиозащитными свойствами. Это позволяет обобщить данные исследований энергосберегающих покрытий при разработке радиозащитных покрытий для летательных аппаратов.

### **Внедрение наночастиц в плёнкообразующие составы**

Известные на сегодня изделия и стекла с радиозащитными покрытиями, окрашенные в массе оксидами переходных элементов, слишком уменьшают светопропускание видимых лучей и не подлежат для остекления зданий [5].



Способ формирования прозрачных радиозащитных слоев на основе уже существующего строительного листового стекла или другого изделия методом имплантации ионов переходных элементов в его поверхностный слой. Частицы нанометрового размера, внедренные в то или иное вещество, формируют свойства, которые в большей степени отличаются от свойств исходного изделия (рисунок 4).

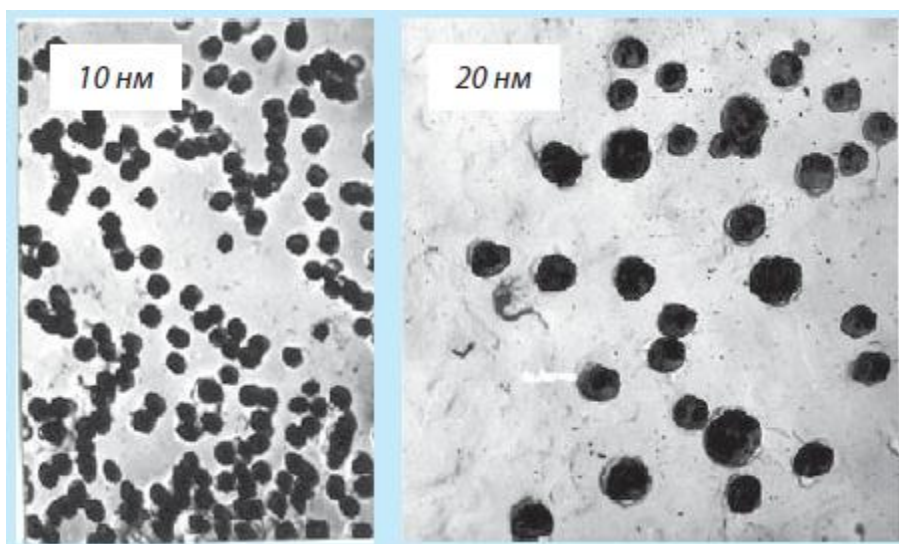


Рисунок 4 – ТЕМ микрофотографии стекла S-1, имплантированного  $\text{Co}^+$  при дозах  $D = 3 \cdot 10^{16}$  (слева) и  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  (справа)

Одним из способов, которым пользуются для получения наночастиц в диэлектриках, есть ионная имплантация. В процессе ионной имплантации поверхность твердого тела (стекла) облучается тяжелыми заряженными частицами (ионами), ускоренными до энергии от нескольких кэВ до нескольких мэВ, при этом происходит частичное распыление подложки с внедрением (имплантацией) в нее ускоренных ионов.

Способ ионной имплантации обладает рядом важных преимуществ в сравнении с другими способами получения наночастиц благодаря способности получать огромные объемы фракций наночастиц в поверхностном слое изделия, а также возможности контроля размера частиц, глубины и ширины слоя на микронной шкале. Таким образом, осуществлять имплантацию в изделия катионов различных элементов можно, изделие при этом остается прозрачным. Размер частиц зависит от дозы облучения, плотности тока,

температуры изделия (или стекла), а глубина проникновения имплантируемых частиц задается энергией заряженных частиц и их атомной массой. Причиной поглощения электромагнитного излучения образующимися в поверхностном слое стекла наночастицами может быть диссипативный резонанс.

Диссипативный резонанс - это явление нарастания колебаний в распределенной колебательной системе под действием внешних периодических сил за счет образования структуры порядка. Под действием синхронной внешней силы (в нашем случае - монохроматической электромагнитной волны) частицы начинают перемещаться вдоль некоторых направлений. Частицы приходят в движение. При определенных условиях неравномерность распределения частиц будет уменьшаться, а амплитуда колебаний увеличиваться. В имплантационном слое будет образовываться периодическая структура порядка в виде зон с повышенной плотностью числа частиц, колеблющихся с большой амплитудой, т. е. электромагнитные колебания переходят в механические.

Выбор имплантата и оптимальной дозы облучения проводили на модельных стеклах, синтезированных из химически чистых реактивов во избежание попадания в стекломассу примесных ионов, способных взаимодействовать с имплантированными ионами переходных элементов (ПМ).

Для идентификации соединений, образующихся в стекле после имплантации, намечено использовать метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), который, кроме того, позволяет исследовать эволюцию состояний ПМ в процессе ионной имплантации, в частности — образование кластеров ПМ, предшествующих возникновению наночастиц.

**Заключение.** В наши дни одним из основных общественных способов снижения нежелательного электромагнитного воздействия является применение радиозащитных материалов.

Все чаще можно встретить объекты, подверженные негативному воздействию электромагнитного излучения, либо являющихся их источниками. К таким объектам можно отнести: токоприемники вагонов монорельсовой

железной дороги, электродвигатели и электротранспорт, различные средства связи, телекоммуникации и радиолокации, специальные помещения и устройства.

В связи с этим возникает необходимость создания радиозащитных покрытий не только стандартными методами, но и путем внедрения в то или иное вещество частиц нанометрового размера.

### **Библиографический список:**

1. Богомолова Л. Д. Использование электронного парамагнитного резонанса для исследования стекол и сырьевых материалов (обзор) / Л. Д. Богомолова, В. А. Жачкин, Т. К. Павлушкина // Стекло и керамика. – 2015. – № 4. – С. 3-9.

2. Шредер Х. Осаждение оксидных слоев из органических растворов // Физика тонких пленок / под ред. Г. Хасса и Р. Э. Туна. – М. : Мир, 1972. Т.5. – С. 84-139.

3. Степанов А. Л. Оптическое пропускание диэлектрических слоев, содержащих неоднородно распределенные по толщине образца металлические наночастицы / А. Л. Степанов // Опт. и спектр. – 2001. – Т. 91, № 5. – С. 868-873.

4. Захаржевский О. А. База знаний для энергосберегающей светотехники/ Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сборник научных трудов XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием, Саранск, 28-29 мая 2015 г. / С. А. Панфилов, А. С. Федоренко, С. Н. Ивлиев, О. Ю. Коваленко. – Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2015. – 270 с.

5. Бондарь Е. А. Исследование свойств промежуточных металлосодержащих слоев энергетически эффективных покрытий / Е. А. Бондарь, М. В. Седова, Л. П. Шадрина. – М. : [б. и.], 2005. – 24 с.