

Р. Т. Галяутдинов, И. Р. Уразбахтин

ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ «ХОЛОДНОГО» ЗЕРКАЛА ДЛЯ ЭНДОХИРУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: магнетронная распылительная система, «холодное» зеркало, эндоскопия.

Разработана конструкция «холодного» зеркала для эндоскопического оборудования. Методом магнетронного распыления получены «холодные» зеркала эффективно отражающие видимое излучение (свыше 99%) и уменьшающее в 7-10 раз тепловое (инфракрасное) излучение.

Key words: magnetron sputtering system, "cold" mirrors, endoscopy.

The design of the "cold" mirrors endosurgical equipment. Prepared by magnetron sputtering "cold" mirror reflecting the visible light efficiently (over 99%) and reduced to 7-10 times the thermal (infrared) radiation.

Введение

Плазменные технологии широко применяются для нанесения тонких функциональных покрытий на различные материалы (металлы, стекло, полимеры и др.), которые используются в качестве оптоэлектронных компонентов медицинского эндоскопического оборудования предназначенного для проведения эндоскопических операций.

Эндоскопические операции обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными хирургическими операциями [1-2]:

- операции выполняются без разрезов, они малотравматичны, т.е. повреждение здоровых тканей при доступе к объекту операции минимизируется – при том же конечном результате, что и при традиционных, открытых операциях;
- больные активизируются на 1-е сутки после операции (встают, ходят), существенно сокращается срок пребывания пациента в стационаре;
- значительно укорачивается период утраты трудоспособности и возвращения к обычному образу жизни;
- быстрое восстановление пациентов предполагает снижение потребности в лекарственных препаратах, что приводит к уменьшению риска их побочных и токсических воздействий;
- наличие косметического эффект, когда вместо обширных послеоперационных рубцов у пациентов не остается практически никаких следов.

Современные эндоскопы снабжены системами передачи света и изображения; комплектуются инструментами для проведения биопсии, извлечения инородных тел, электрокоагуляции, введения лекарственных веществ и других манипуляций; с помощью дополнительных приспособлений обеспечивают получение объективной документации (фотографирование, киносъемка, видеозапись). Недостатком осветительной системы эндоскопа является нагрев входного окна осветительного жгута эндоскопа и неблагоприятное воздействие инфракрасного излучения на ткани организма является одной из проблем проведения эндоскопических операций. Плазменные технологии нанесения тонкослойных оптических покрытий [3-8] дают возможность изготавливать оптические элементы осветительных систем с требуемыми характеристиками. Целью работы является разработка «холодного» зеркала

осветительной системы эндоскопа ОКЭ-250 для защиты от перегрева входного окна осветительного жгута эндоскопа и уменьшения воздействия инфракрасного излучения на органы и ткани организма.

Медицинские эндоскопы

Медицинские эндоскопы предназначены для исследования и лечения полых внутренних органов человека (пищевод, желудок, бронхи, мочеиспускательный канал, мочевой пузырь, женские репродуктивные органы, почки, органы слуха), а также брюшной и других полостей тела.

Современные медицинские эндоскопы – сложные оптико-механические приборы. Они снабжены системами передачи света и изображения; комплектуются инструментами для проведения биопсии, извлечения инородных тел, электрокоагуляции, введения лекарственных веществ и других манипуляций; с помощью дополнительных приспособлений обеспечивают получение объективной документации (фотографирование, киносъемка, видеозапись).

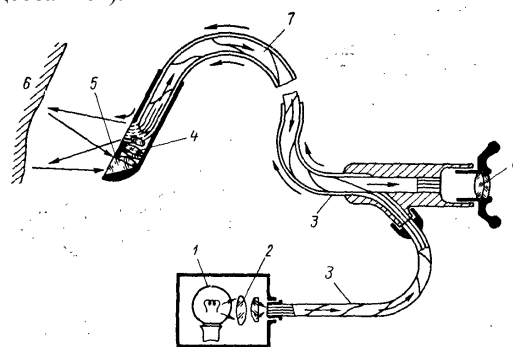


Рис. 1 - Схема устройства гибкого эндоскопа с волоконным световодом: 1- лампа осветителя; 2- конденсор; 3 - осветительный жгут; 4 объектив; 5 - призма; 6 – объект наблюдения; 7 – жгут, передающий изображение; 8 - окуляр

Поскольку при наблюдении в эндоскоп отсутствует внешнее освещение, то от осветительной системы зависит сама возможность наблюдения биологического объекта с помощью эндоскопа. Поэтому основная задача осветительной системы эндо-

скопа заключается в обеспечении высокой освещенности поля зрения и создании колориметрического подобия изображения объекту. Схема устройства линзового эндоскопа с волоконным световодом представлена на рис.1 [9].

Осветительная система эндоскопа

Осветитель эндоскопа предназначен для создания освещенности операционного поля при эндоскопических операциях. Принципиальная оптическая схема переносного осветителя ксенонового ОКЭ-250 представлена на рисунке 2.

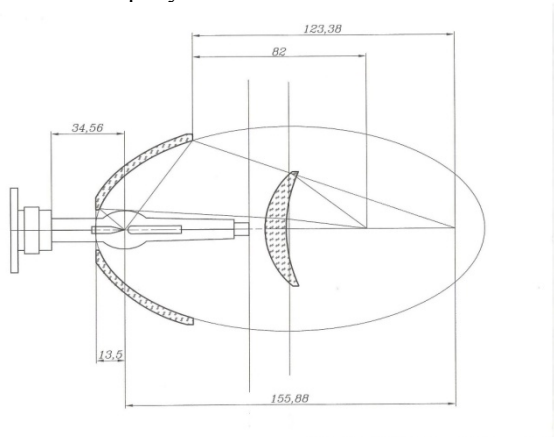


Рис. 2 - Оптическая схема осветителя ксенонового ОКЭ-250

Оптическая система осветителя включает источник излучения, световой поток которого собирается и формируется с помощью эллипсоидного зеркала и собирающей линзы. Для защиты входного торца волоконного осветительного жгута от сильных тепловых воздействий на одну из сторон линзы нанесен коротковолновый отрезающий фильтр на основе оксидов циркония и кремния. На внутреннюю сторону эллипсоидной подложки методом магнетронного напыления наносится «холодное» зеркало, которое отражает «холодный» свет, а тепловое (инфракрасное) излучение пропускает. Таким образом, тепловое излучение проходит за зеркало и рассеивается вентилятором, а «холодный» свет, соответствующий видимому спектральному диапазону, максимально отражается.

Световой поток от источника излучения с помощью эллипсоидного зеркала и собирающей линзы фокусируется на выходном оптическом разъеме осветителя. Для поддержания требуемого теплового режима внутри источника света встраивается вентилятор.

Конструкция «холодного» зеркала

Многослойное оптическое интерференционное покрытие представляет собой систему из некоторого числа плоскопараллельных тонких слоев различных веществ. Эта система ограничена с двух сторон полубесконечными средами. Ограничивающие среды, а также вещества слоев полагаются однородными и изотропными в каждой плоскости, перпендикулярной к фиксированному направлению, например, оси z в декартовой системе координат.

Общепринятой моделью тонкой пленки является плоскопараллельный бесконечно протяженный слой, толщина которого сравнима с длиной волны света. Основными характеристиками слоя являются: геометрическая толщина d и комплексный показатель преломления $\tilde{n}(z) = n - i k$, где n – показатель преломления, k – показатель поглощения, i – мнимая единица.

Согласно Борну и Вольфу [10] комплексные амплитудные коэффициенты отражения r и пропускания t второго рода [11], определяющие связь между амплитудами падающей, отраженной и прошедшей через мультислой плоской электромагнитной волны в направлении z , определяются следующими формулами:

$$r = \frac{n_0 \cdot M_{11} - n_s \cdot M_{22} + (n_0 \cdot n_s \cdot M_{12} - M_{21})}{n_0 \cdot M_{11} + n_s \cdot M_{22} + (n_0 \cdot n_s \cdot M_{12} + M_{21})}, \quad (1)$$

$$t = \frac{2 \cdot \sqrt{n_0 \cdot n_s}}{n_0 \cdot M_{11} + n_s \cdot M_{22} + (n_0 \cdot n_s \cdot M_{12} + M_{21})}, \quad (2)$$

где n_0 , n_s – показатели преломления ограничивающих сред (исходной среды и подложки), M_{ij} – элементы матрицы интерференции [10]:

$$\begin{bmatrix} M_{11} & i \cdot M_{12} \\ i \cdot M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} = \prod_{j=1}^N \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \tilde{n}_j \cdot d_j\right) & \frac{i}{\tilde{n}_j} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \tilde{n}_j \cdot d_j\right) \\ i \cdot \tilde{n}_j \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \tilde{n}_j \cdot d_j\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \tilde{n}_j \cdot d_j\right) \end{bmatrix}$$

где N – число пленок, $\tilde{n}_j$ – комплексный показатель преломления j – го слоя, d_j – его геометрическая толщина.

Энергетические коэффициенты отражения R и пропускания T многослойной системы определяются из выражений (1) и (2). Так, если ограничивающие среды прозрачны и углы падения и преломления вещественны, то имеют место соотношения:

$$R = r \cdot r^*,$$

$$T = t \cdot t^*,$$

где $*$ – означает комплексное сопряжение.

Приведенные выше формулы являются основными для расчета спектральных характеристик многослойных интерференционных систем.

Конструкция «холодного» зеркала представляет собой систему из 13 четвертьволновых слоев с высоким и низким показателем преломления $V(HV)^6$ /стекло, где V – четвертьволновый слой оксида титана TiO_2 с высоким показателем преломления $n_v = 2,5$; H – четвертьволновый слой оксида кремния SiO_2 с низким показателем преломления $n_n = 1,45$. Оптическая толщина $n \cdot d$ каждого из слоев покрытия равна $\lambda_0/4$, где n – показатель преломления слоя, d – геометрическая толщина, λ_0 – длина волны.

Спектральная зависимость коэффициента отражения «холодного» зеркала представлена на рис. 3. Разработанное интерференционное покрытие для зеркала эффективно отражает в видимой области спектра $\lambda = 0,45 - 0,65$ мкм, и пропускает ИК излучение.

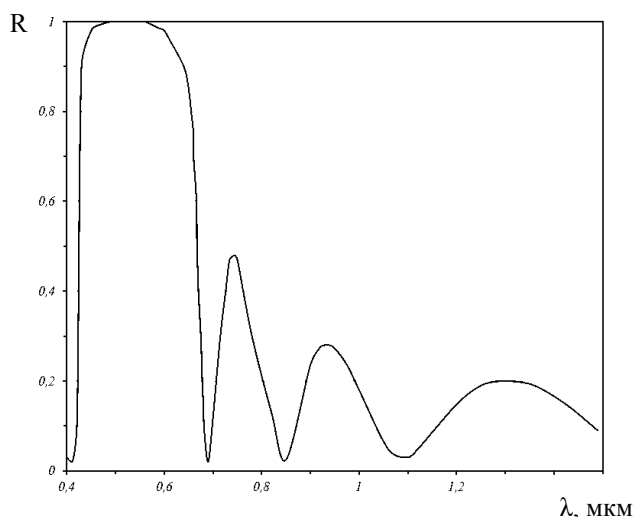


Рис. 3 - Спектральная зависимость коэффициента отражения «холодного» зеркала

Технология нанесения «холодного» зеркала

Нанесения «холодного» зеркала производится на модернизированной вакуумной установке УВН-70А-2 [12]. Система откачки обеспечивает остаточное давление в вакуумной камере $6,5 \cdot 10^{-3}$ Па и последующую работу магнетрона при давлении рабочего газа от 0,1 до 0,4 Па. В систему откачки входят: насос вакуумный пластинчато-роторный НВР-16Д, насос вакуумный диффузионный Н-400, ловушка водоохлаждаемая. Нанесение покрытий осуществляется магнетронной распылительной системой, состоящей из двух одинаковых магнетронов со сменными катодами, поэтому имеется возможность наносить сложные многослойные покрытия в одном рабочем цикле. В систему газоснабжения входят баллоны с плазмообразующими газами. Оптические толщины наносимых слоев контролируются системой фотометрического контроля по изменению интенсивности проходящего через наносимое на подложку покрытие луча света.

Изготовление высокоотражающего «холодного» зеркала ведут в вакуумной камере магнетронным распылением [13]. Стекланную подложку предварительно обезжиривают и помещают в вакуумную камеру, в которой создают давление $P_{ост} = 6,6 \cdot 10^{-3}$ Па. Затем осуществляют напуск аргона до давления $P = 0,26$ Па. Для напыления слоя оксида кремния зажигают разряд на магнетроне с кремниевой мишенью в атмосфере смеси газов аргона и кислорода. Напыление проводят до достижения слоем четвертьволновой оптической толщины, а затем напыляют слой оксида титана. Для напыления слоя оксида титана зажигают разряд на магнетроне с титановой мишенью в атмосфере смеси газов аргона и кислорода. Напыление проводят до достижения слоем четвертьволновой оптической толщины. Наносят 13 четвертьволновых чередующихся слоев TiO_2 и SiO_2 .

Технологический процесс нанесения покрытий включает в себя следующие операции:

1. Подготовка установки: разогрев паромасляного насоса, протирка бязью со спиртом внутренней

поверхности вакуумной камеры и системы вращения подложек.

2. Подготовка подложек: чистка поверхности подложек безворсовой тканью. Закрепление подложек в подложкодержатели.

3. Герметизация вакуумной камеры осуществляется закрыванием боковых дверей после протирки бязью со спиртом уплотнительной прокладки. Производится откачка механическим насосом до давления 26 Па.

4. Очистка и активация поверхности подложек осуществляется в тлеющем разряде в течение 10 минут при подаче на высоковольтный электрод ионной очистки высокого напряжения – 2 кВ.

5. Вакуумная камера откачивается до высокого вакуума ($1,33 \cdot 10^{-3}$ Па) при помощи паромасляного и механического насосов.

6. Подложки нагреваются при помощи нагревателей до температуры 510 К и выдерживают при этой температуре в течение 30 мин.

7. Для нанесения оксида титана (оксида кремния) в вакуумную камеру подается смесь плазмообразующего и реакционного газов аргона и кислорода в соотношении 9:1, давление в камере увеличивается до 0,26 Па, зажигается разряд на магнетроне с титановой (кремниевой) мишенью. Происходит нанесение слоя оксида титана (кремния), оптической толщины равной $\lambda_0/4$. По достижении покрытием требуемой толщины, разряд выключается. Оптическая толщина наносимого слоя оксида титана (кремния) контролируется системой фотометрического контроля толщины.

8. После остывания подложек вакуумная камера разгерметизируется, напыленные подложки извлекаются.

Заключение

Разработана конструкция «холодного» зеркала для эндохирургического оборудования. Методом магнетронного распыления получены «холодные» зеркала на эллипсоидном отражателе осветителя ксенонового ОКЭ-250. Достигнуто существенное в 7-10 раз уменьшение теплового (инфракрасного) излучения при высоком (более 99%) отражении в видимой области спектрального диапазона 0,45 - 0,65 мкм для защиты от перегрева входного окна осветительного жгута эндоскопа и уменьшения воздействия инфракрасного излучения на органы и ткани организма

Литература

1. С.В. Мухин, А.Л. Пузырян, *История развития эндоскопической хирургии*, 272(1998)
2. И.В. Фёдоров, С.Е. Сигал, В.В. Одинцов, *Эндоскопическая хирургия*, 351(1999)
3. Р.Т. Галаяудинов, М.В. Елхин, Н.Ф. Кашапов, *Вестник КГТУ*, 2, 335-339 (2010).
4. R.T. Galyautdinov, G.S. Luchkin, N.F. Kashapov, *Welding International*, 17, 655 – 658(2003)
5. Р.Т. Галаяудинов, Н.Ф. Кашапов, *Вестник КГТУ*, 10, 58-63 (2011).
6. Пат. Рос. Федерация 2426280 (2010)

7. Пат. Рос. Федерация 2467895 (2011)
8. Пат. Рос. Федерация 2339591 (2008)
9. В.Б. Вейнберг, Д.К. Саттаров, *Оптика световодов*, 320 (1977).
10. М. Борн, Э. Вольф, *Основы оптики*, 720(1973)
11. П.Г. Кард, *Анализ и синтез многослойных интерференционных пленок*, 236(1971)
12. Н.Ф. Кашапов, Г.С. Лучкин, Р.Ф. Тагиров, Вакуумный стенд для нанесения функциональных покрытий, Вестник КГТУ, 2, 346-352(2010)
13. Р.Т. Галяутдинов, Н.Ф. Кашапов, Р.Ф. Тагиров, Вестник КГТУ, 10, 49-53(2011)

© **Р. Т. Галяутдинов** – канд. техн. наук, доц. К(П)ФУ, raf7g@mail.ru; **И. Р. Уразбахтин** – студ. КНИТУ, rok-best@mail.ru.