



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102093668 A

(43) 申请公布日 2011.06.15

(21) 申请号 201010603222.4

(22) 申请日 2010.12.23

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 高峰 杨芳 范颖 赵会娟

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

代理人 程毓英

(51) Int. Cl.

C08L 63/00 (2006.01)

C08K 13/02 (2006.01)

C08K 3/22 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

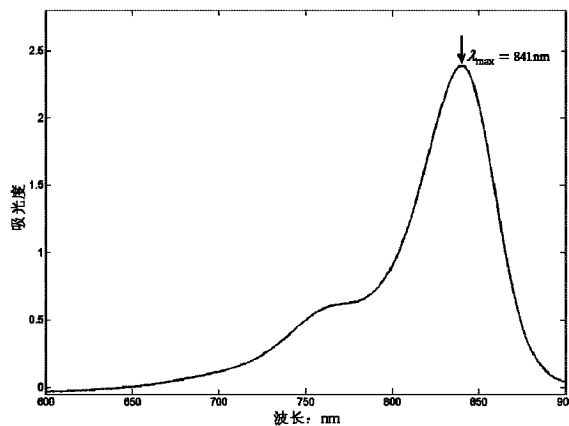
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

光学乳腺成像用固态仿体制作方法

(57) 摘要

本发明属于生物医学工程技术领域,涉及一种光学乳腺成像用固态仿体制作方法,包括:近红外吸收染料溶解到环氧树脂里,制成吸收母液;获取吸收母液的吸收光谱曲线,计算吸收母液的用量;根据米散射理论计算制作仿体所需要的二氧化钛用量;称取吸收母液,按照所需要的二氧化钛的体积含量称取二氧化钛,将二氧化钛、吸收母液与环氧树脂混合并充分搅拌;将混合溶液放到真空泵中,抽取其中的气泡;根据需要做的仿体的形状及体积,准备模具;向模具中加入混合溶液和固化剂;沿同一个方向匀速搅拌使其混合均匀;再次抽取气泡;低温固化成型。本发明实现了制作具有稳定的物理性质、能长期保存的光学乳腺成像用固态仿体。



1. 一种光学乳腺成像用固态仿体制作方法,包括下列步骤:

(1) 称取适量的近红外吸收染料和环氧树脂,并将近红外吸收染料溶解到环氧树脂里,制成一定浓度的吸收母液;

(2) 获取吸收母液的吸收光谱曲线,并计算在 $\lambda = 780\text{nm}$ 下吸收母液的吸收系数;

(3) 根据吸收系数与染料浓度的线性关系,计算在波长 $\lambda = 780\text{nm}$ 下吸收系数为 $\mu_a = 0.005\text{mm}^{-1}$ 的吸收母液的浓度,据此,计算由步骤 1 制取的吸收母液应当稀释的倍数;

(4) 根据米散射理论计算制作约化散射系数为 $\mu'_s = 0.9\text{mm}^{-1}$ 的仿体所需要的二氧化钛的体积含量,这里的体积含量指在制备好的仿体中,每单位体积含二氧化钛的质量;

(5) 按照吸收母液应当稀释的倍数称取吸收母液,按照所需要的二氧化钛的体积含量称取二氧化钛,将二氧化钛、吸收母液与环氧树脂混合并充分搅拌;

(6) 将混合溶液放到真空泵中,在低于 $0.3 \sim 0.4$ 个大气压下,抽取其中的气泡;

(7) 根据需要做的仿体的形状及体积,准备模具;

(8) 在避光条件下,按照环氧树脂与所选用的固化剂的适当的质量配比,向模具中加入混合溶液和固化剂;

(9) 加入固化剂后,沿同一个方向匀速搅拌使其混合均匀;

(10) 将模具再次放到真空泵中,抽取加入了固化剂的混合溶液中的气泡;

(11) 将模具放置到 $0 \sim 5^\circ\text{C}$ 恒温箱中,待其固化成型;

(12) 将成型的固体从模具中取出,将其进一步加工成固态仿体,所制成的固态仿体的参数为:波长 $\lambda = 780\text{nm}$,吸收系数 $\mu_a = 0.005\text{mm}^{-1}$,约化散射系数 $\mu'_s = 0.9\text{mm}^{-1}$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的光学乳腺成像用固态仿体制作方法,其特征在于,第 4 步中,加入二氧化钛的体积含量为 0.000704g/ml 。

3. 根据权利要求 1 所述的光学乳腺成像用固态仿体制作方法,其特征在于,环氧树脂与固化剂的质量配比为 $5 : 2$ 。

光学乳腺成像用固态仿体制作方法

技术领域

[0001] 本发明属于生物医学工程技术领域,涉及一种仿体制作方法。

背景技术

[0002] 近 30 多年来,乳腺癌的发病率一直位居城市女性肿瘤发病率的首位,并表现出持续的高增长。虽然乳腺癌的治疗技术已经改进,但死亡率仍然无明显下降,其主要原因主要是中晚期病例较多,早期发现者少。目前世界每年约有 120 万妇女罹患乳腺癌,有 50 万妇女死于乳腺癌。其中北美,北欧是乳腺癌的高发地区,其发病率约为亚,非,拉美地区的 4 倍,已成为欧美国家的沉重负担。但是美国乳腺癌的病死率却基本保持稳定,这主要是因为乳腺癌早期检测方案在美国的广泛实施。传统认为我国是乳腺癌的低发地区,但近年来乳腺癌的发病率正在逐年上升,且死亡率已经节节攀升,增长速度惊人。当前,我国乳腺癌发病率的年增长速度达 3% -4%,高于全球的增长速度。

[0003] 国内外大部分研究认为,多数乳腺恶性肿瘤内部和周边可探及丰富的血流信息,肿瘤越大,血流越丰富;组织分级越高,血流越丰富。针对乳腺癌这一病症,目前最常用的乳腺早期检测方法以及乳腺 X 线摄影术和超声波影像技术为主,此外还有计算机断层摄影术,核磁共振成像技术,正电子放射性断层摄影术,热图像检查,扩散光学层析成像。

[0004] 以上几种方法用于乳腺癌检测虽然各有优势,但亦有各自的缺憾。早期作出正确诊断对乳腺癌的治疗具有决定性的意义,如目前临床常用的 X 光拍片及超声都是探测乳腺癌密度的变化,而不是分子化学成分分析,因此这两种技术都无法可靠地区分癌变和良性肿瘤,只能用作检测疑似病例而不能用作诊断。为了进一步区分恶性和良性肿瘤,通常需要做具有一定创伤性的活体组织切片检查,而切片病理表明 70% -90% 又是良性的。为了避免发生早期乳腺癌漏诊或误诊,常采用几种技术结合对乳腺癌的进行诊断,这也是提高早期诊断的关键。显然,对于乳腺癌这种高发病率的恶性肿瘤,研究一种对人体无伤害,价格低廉,敏感性及特异性达标,且便于推广的早期乳腺癌的检测新技术。近年来,光学成像方法由于具有无损伤的特性和在提高检测特异性上的巨大潜力,已日益受到研究者的关注,尤其是随着近红外光成像技术的发展,一种面向乳腺癌早期检测的近外扩散光学层析成像技术(NIR-DOT)正在获得广泛研究。

[0005] 与任何成像系统发展历程相似,在光学乳腺成像系统研制过程中,在直接应用于人体乳腺组织之前,对其灵敏性空间分辨率和量化度等主要检测指标以及图像重建算法本征性能的检验,均需要设计和制作一种标准目标体,称为光学仿体(Phantom),该仿体的光学参数应具有与乳腺组织相同或接近的光学参数,包括吸收系数和散射系数,可用于不同光学成像系统对测量结果进行比较和研究。此外,从使用角度,要求该仿体具有稳定的物理性质、能长期保存和易于制作。乳腺组织光学仿体的制作在我国还属于空白,通常使用基于 Intralipid 的液态仿体制作技术,在形状控制、异质体嵌入和重复利用性上具有很大局限性,而在国际上,各相关研究单位独立研制的固态仿体虽可借用但其设计方法各不相同且制作工艺保密,因此使用者可获得的成像目标模式十分有限。由于乳腺光学成像方法的

研究需要大量使用不同种类的仿体,故独立发展和掌握固态仿体制作技术对有效的系统和算法验证十分必要,为此本发明提出了一种光学乳腺成像固态仿体的制作方法。

[0006] 国内外大量组织光谱学研究表明,在 780nm 波长附近,正常乳腺组织的光学参数为:吸收系数: $\mu_a \approx 0.005\text{mm}^{-1}$;约化散射系数: $\mu'_s \approx 0.9\text{mm}^{-1}$ (参见:Durduran T, Choe R, Culver J P, Zubkov L, Hoboke M J, Giammarco J, Chance B and Yodh A G, "Bulk optical properties of healthy female breast tissue," Phys. Med. Biol. 47, 2847-2861, 2002)

发明内容

[0007] 本发明的目的是提出一种适用于光学乳腺成像的固态仿体制作方法。本发明的技术方案如下:

[0008] 一种光学乳腺成像用固态仿体制作方法,包括下列步骤:

[0009] (1) 称取适量的近红外吸收染料和环氧树脂,并将近红外吸收染料溶解到环氧树脂里,制成一定浓度的吸收母液;

[0010] (2) 获取吸收母液的吸收光谱曲线,并计算在 $\lambda = 780\text{nm}$ 下吸收母液的吸收系数;

[0011] (3) 根据吸收系数与染料浓度的线性关系,计算在波长 $\lambda = 780\text{nm}$ 下吸收系数为 $\mu_a = 0.005\text{mm}^{-1}$ 的吸收母液的浓度,据此,计算由步骤 1 制取的吸收母液应当稀释的倍数;

[0012] (4) 根据米散射理论计算制作约化散射系数为 $\mu'_s = 0.9\text{mm}^{-1}$ 的仿体所需要的二氧化钛的体积含量,这里的体积含量指在制备好的仿体中,每单位体积含二氧化钛的质量;

[0013] (5) 按照吸收母液应当稀释的倍数称取吸收母液,按照所需要的二氧化钛的体积含量称取二氧化钛,将二氧化钛、吸收母液与环氧树脂混合并充分搅拌;

[0014] (6) 将混合溶液放到真空泵中,在低于 0.3 ~ 0.4 个大气压下,抽取其中的气泡;

[0015] (7) 根据需要做的仿体的形状及体积,准备模具;

[0016] (8) 在避光条件下,按照环氧树脂与所选用的固化剂的适当的质量配比,向模具中加入混合溶液和固化剂;

[0017] (9) 加入固化剂后,沿同一个方向匀速搅拌使其混合均匀;

[0018] (10) 将模具再次放到真空泵中,抽取加入了固化剂的混合溶液中的气泡;

[0019] (11) 将模具放置到 0 ~ 5℃ 恒温箱中,待其固化成型;

[0020] (12) 将成型的固体从模具中取出,将其进一步加工成固态仿体,所制成的固态仿体的参数为:波长 $\lambda = 780\text{nm}$,吸收系数 $\mu_a = 0.005\text{mm}^{-1}$,约化散射系数 $\mu'_s = 0.9\text{mm}^{-1}$ 。

[0021] 本发明的光学乳腺成像用固态仿体制作方法,第 4 步中,加入二氧化钛的体积含量为 0.000704g/ml;环氧树脂与固化剂的质量配比为 5 : 2。

[0022] 本发明根据正常乳腺组织的光学参数,通过理论计算和实验验证,确定了制作该种组织的仿体的配方,并给出了仿体的具体制作方法,为光学乳腺成像系统的研制和实验提供了物质基础。

附图说明

[0023] 图 1 利用本发明实施例采用的近红外染料制备的吸收母液的吸收光谱曲线。

具体实施方式

[0024] 下面根据实施例对本发明做详细说明。

[0025] 本实施例选用的制作仿体的材料由三部分组成,基底材料,吸收物质和散射物质。其中基底材料包括环氧树脂,固化剂;吸收物质为近红外吸收染料;散射物质为二氧化钛(TiO_2)微颗粒。下面分别对本实施例所采用的材料和制作方法做详细描述。

[0026] 所采用的主要材料如下:

[0027] 1) 近红外吸收染料

[0028] 型号:菁染料 NIRD-09

[0029] 在避光的条件下,将 1.5mg 染料溶解于 100ml 环氧树脂中,并用玻璃棒搅拌均匀,称之为吸收母液。用光谱仪扫描出吸收母液的吸收光谱曲线(样品池厚度为 10mm)如图 1 所示(扫描光频带为 600 ~ 900nm,抽样间隔为 1nm 的快速单一扫描)

[0030] 2) 环氧树脂(Epoxy Resin)

[0031] 型号:Araldite GY257

[0032] Araldite GY 257 是一种低粘滞改性双酚 A 环氧树脂,固化后具有良好的机械性,在 25℃下粘度为 500 ~ 650mpa.s,比重为 1.15g/cm³。

[0033] 3) 固化剂(Hardener)

[0034] 型号:Aradur 3233

[0035] 在 25℃下,比重为 1.0g/cm³,操作时间为 30 分钟。固化剂用量与环氧树脂用量的质量比为 2 : 5。

[0036] 4) 二氧化钛(TiO_2)

[0037] 型号:DuPont Ti-Pure R-902+

[0038] Ti-Pure R-902+ 是一种采用氯化物工艺生产的多用途金红石型钛白粉颜料,钛白粉最低重量百分比为 93%;比重为 4.0g/cm³;粒径中值为 0.405 μm;在波长 $\lambda = 780\text{nm}$ 下,它的折射率为 2.6。

[0039] 4. 相关量的计算

[0040] (1) 散射系数计算方法

[0041] 德国科学家古斯塔夫·米(Mie)发现了散射程度依赖于散射粒子的尺寸和入射波长的比把它们定义为尺寸参数 x

$$[0042] \quad x = \frac{\pi D}{\lambda} \quad (1)$$

[0043] 式中 D 为散射粒子的直径, λ 为入射光波长。当 $0.1 < x < 50$ 时,散射被称为米散射,也称为大颗粒散射。选用 TiO_2 的粒径约 405nm 与近红外波段 650-900nm 同数量级,故 Mie 理论适用。Mie 散射的计算,首先要计算 Mie 系数(参见:Wang Lihong V. and Wu Hsin-I, Biomedical Optics: Principle and Imaging, Chapter 2, John Wiley & Sons, 2007)。

$$[0044] \quad a_n = \frac{m^2 j_n(mx) [x j_n(x)]' - \mu_1 j_n(x) [mx j_n(mx)]'}{m^2 j_n(mx) [x h_n^{(1)}(x)]' - \mu_1 h_n^{(1)}(x) [mx j_n(mx)]'}$$

$$[0045] \quad (2)$$

$$[0046] \quad b_n = \frac{\mu_1 j_n(mx) [x j_n(x)]' - j_n(x) [mx j_n(mx)]'}{\mu_1 j_n(mx) [x h_n^{(1)}(x)]' - h_n^{(1)}(x) [mx j_n(mx)]'}$$

[0047] 其中, m 是粒子相对周围介质的折射率, 这里 m 为正实数, 说明粒子为单一散射粒子, 没有吸收; μ_1 是粒子相对于介质的磁场透过率, 通常为 1; $j_n(z)$ 和 $h_n^{(1)}(z) = j_n(z) + iy_n(z)$ 是 n 阶球谐贝塞尔函数, $z = x$ 或者 $z = mx$ 。其中, 贝塞尔函数相关的导数函数为

$$[0048] \quad [z j_n(z)]' = z j_{n-1}(z) - n j_n(z)$$

$$[0049] \quad (3)$$

$$[0050] \quad [z h_n^{(1)}(z)]' = z h_{n-1}^{(1)}(z) - n h_n^{(1)}(z)$$

[0051] 这里给出 $n = 0, 1$ 球谐贝塞尔函数表达式

$$[0052] \quad j_0(z) = \sin z/z$$

$$[0053] \quad j_1(z) = \sin z/z^2 - \cos z/z$$

$$[0054] \quad (4)$$

$$[0055] \quad y_0(z) = -\cos z/z$$

$$[0056] \quad y_1(z) = -\cos z/z^2 - \sin z/z$$

[0057] 根据以下递推公式可以求出 $n = 2, 3, 4, L$ 的贝塞尔函数值

$$[0058] \quad f_{n-1}(z) + f_{n+1}(z) = \frac{2n+1}{z} f_n(z) \quad (5)$$

[0059] 根据以上公式可以求出 Mie 系数, 那么散射效率

$$[0060] \quad Q_{sca} = \frac{2}{x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (|a_n|^2 + |b_n|^2) \quad (6)$$

[0061] 通常 $n_{\max} = x + 4x^{1/3} + 2$ 。由此可以求出每一个粒子的散射截面

$$[0062] \quad \sigma_{sca} = Q_{sca} \pi a^2 \quad (7)$$

[0063] 相应地散射系数为

$$[0064] \quad \mu_s = \rho \sigma_{sca} \quad (8)$$

[0065] ρ 为单位体积内散射粒子的个数, 即散射粒子浓度。

[0066] 平均散射余弦为

$$[0067] \quad g = \langle \cos \theta \rangle = \frac{4}{Q_{sca} x^2} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(n+2)}{n+1} \operatorname{Re}(a_n a_{n+1}^* + b_n b_{n+1}^*) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(n+2)}{n+1} \operatorname{Re}(a_n b_n^*) \right\} \quad (9)$$

[0068] a^*, b^* 分别为 a, b 的共轭复数。

[0069] 因此, 约化散射系数为

$$[0070] \quad \mu'_s = (1-g) \mu_s \quad (10)$$

[0071] 根据已知 μ'_s , 可由公式反推出散射粒子浓度 ρ

$$[0072] \quad \rho = \frac{\mu'_s}{(1-g) \sigma_{sca}} \quad (11)$$

[0073] 由于将 TiO_2 微球近似看做球体, TiO_2 的粒径中值为 $D = 0.405 \mu\text{m}$, 根据球体积公式

$$[0074] \quad V_{TiO_2} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 \quad (12)$$

[0075] 可求出每个 TiO_2 球的体积, 由 $\rho_{TiO_2} = 4 g/cm^3$, 根据公式

$$[0076] \quad m = \rho \cdot V_{TiO_2} \quad (13)$$

[0077] 可以求出每个 TiO_2 球的质量 m_0 。根据欲配溶液体积 V 及单位体积内散射粒子的个数 ρ , 可求出共需要的 TiO_2 球的个数为 $\rho \cdot V$, 由每个 TiO_2 球的质量 m_0 , 可得到共需 TiO_2 的质量为

$$[0078] \quad m_{TiO_2} = \rho \cdot V \cdot m_0 \quad (14)$$

[0079] (2) 吸收系数计算方法

[0080] 对于一个具有均匀的吸收粒子分布的薄层材料, 其所吸收的辐射能或辐射强度之百分数依赖于吸收物质和入射辐射的波长, 并且与吸收层的厚度成正比。若吸收物质浓度一定, 则对一连串吸收薄层求和或对确定厚度积分, 可以得到透过辐射强度和吸收层厚度之间的指数关系式。该关系式一般称为朗伯定律。

[0081] 设入射到介质中的初始辐射位 I_0 ,

[0082] $I = I_0 e^{-\mu_a l}$ 错误! 未找到引用源。

[0083] 或 $I = I_0 e^{-A}$, 其中 $A = \mu_a l$

[0084] 以上两种表达式中, I_0 是输入光强, I 是测量得到的传输光强, l 是媒质厚度, 而 $A = \ln(I_0/I)$ 被称为吸光度。因此, 通过光谱仪得到吸光度, 那么吸收系数为

$$[0085] \quad \mu_a = \frac{A}{l} \ln 10$$

[0086] (3) 所需材料用量的计算

[0087] 制作体积为 V 的仿体, 波长 $\lambda = 780nm$, 吸收系数为 $\mu_a = 0.005mm^{-1}$, 约化散射系数 $\mu'_s = 0.9mm^{-1}$ 。根据环氧树脂的比重 $\rho_1 = 1.15g/cm^3$, 固化剂的比重 $\rho_2 = 1.0g/cm^3$, 所需环氧树脂与固化剂的质量之比为 5 : 2, 设需要环氧树脂的质量为 M_1 , 需要固化剂的质量为 M_2 , 可列方程组如下:

$$[0088] \quad \begin{cases} \frac{M_1}{M_2} = \frac{5}{2} \\ \frac{M_1}{\rho_1} + \frac{M_2}{\rho_2} = V \end{cases} \quad (15)$$

[0089] 解此方程组可得到所需环氧树脂和固化剂的质量。

[0090] 5、具体制作流程

[0091] (1) 将 1.5mg 染料溶解于 100ml 环氧树脂中, 并用玻璃棒搅拌均匀, 制成溶液, 这里称之为吸收母液, 在 $\lambda = 780nm$ 下, 由母液吸收光谱曲线可得其吸光度 $A = 0.644$, 由此, 吸收母液的吸收系数为: $\mu_a = \frac{A}{l} \times 2.303 = 0.1483 mm^{-1}$ 。

[0092] (2) 制作两块 $200mm \times 120mm \times 30mm$ 体积的仿体, 需配置环氧树脂和固化剂的混合溶液约为 $V = 1500ml$ 。根据公式 (15) 可得, 环氧树脂的质量 $M_1 = 1181g$, 固化剂的质量 $M_2 = 472g$ 。

[0093] (3) 根据比尔 - 朗伯定律, 染料的吸收系数与浓度成线性关系, 据此计算制作吸收

系数为 $\mu_a = 0.005\text{mm}^{-1}$ 的仿体,需要的吸收母液为 50.6ml,即 $M_3 = 58.2\text{g}$ 。

[0094] (4) 根据式 (1) ~ 式 (11) 计算得到,制作约化散射系数 $\mu'_s = 0.9\text{mm}^{-1}$ 的仿体,需二氧化钛 $M_4 = 1.056\text{g}$ 。将 1.056g 二氧化钛、58.2g 即 50.6ml 吸收母液与 1122.8g 环氧树脂混合并充分搅拌形成混合溶液。

[0095] (5) 由于在操作过程中会使溶液掺入一定量的气泡,因此将混合溶液放到真空泵中,在低于 0.3 ~ 0.4 个大气压下,抽气 30 分钟,待液体内的气泡抽出即可停止。

[0096] (6) 根据需要做的仿体的形状及体积,准备适合的模具,计算出所需要的上述混合溶液。

[0097] (7) 在避光条件下,分别向模具中加入计算出的混合溶液质量,根据理论计算中混合溶液与固化剂的比例 (5 : 2),再分别向各个模具中加入定量固化剂。

[0098] (8) 在加入固化剂后,向同一个方向匀速搅拌,防止掺入过多的气泡。由于使用的固化剂的操作时间只有 30 分钟,因此搅拌时间控制在 10 分钟之内。

[0099] (9) 将配好的每份加入固化剂的混合溶液再次放到真空泵中,抽出操作过程中掺入的气泡,控制在 0.3 ~ 0.4 个大气压下抽气二十分钟。

[0100] (10) 待抽气结束,将盛有加入固化剂的混合溶液模型放置到 5℃ 恒温箱中 (由于在固化的过程中会产生大量的热,染料受热会发生性质的改变,最终影响仿体的吸收系数),待其固化成型。

[0101] (11) 成型的固体从模具中取出,根据不同的需要,可以根据具体需要再对其形状进行精细加工,最终成为具有所需光学参数和几何形状的固态仿体。

[0102] 仿体的光学参数由时间分辨谱测量技术 (TRS) 通过反射 / 透射测量光流量与光子扩散模型的“曲线匹配”最终确定 (参见高峰、和慧园、马烝,“基于时间分辨反射测量的混浊介质光学参数计算方法”,天津大学学报, Vol. 41 : 757-761, 2008)。

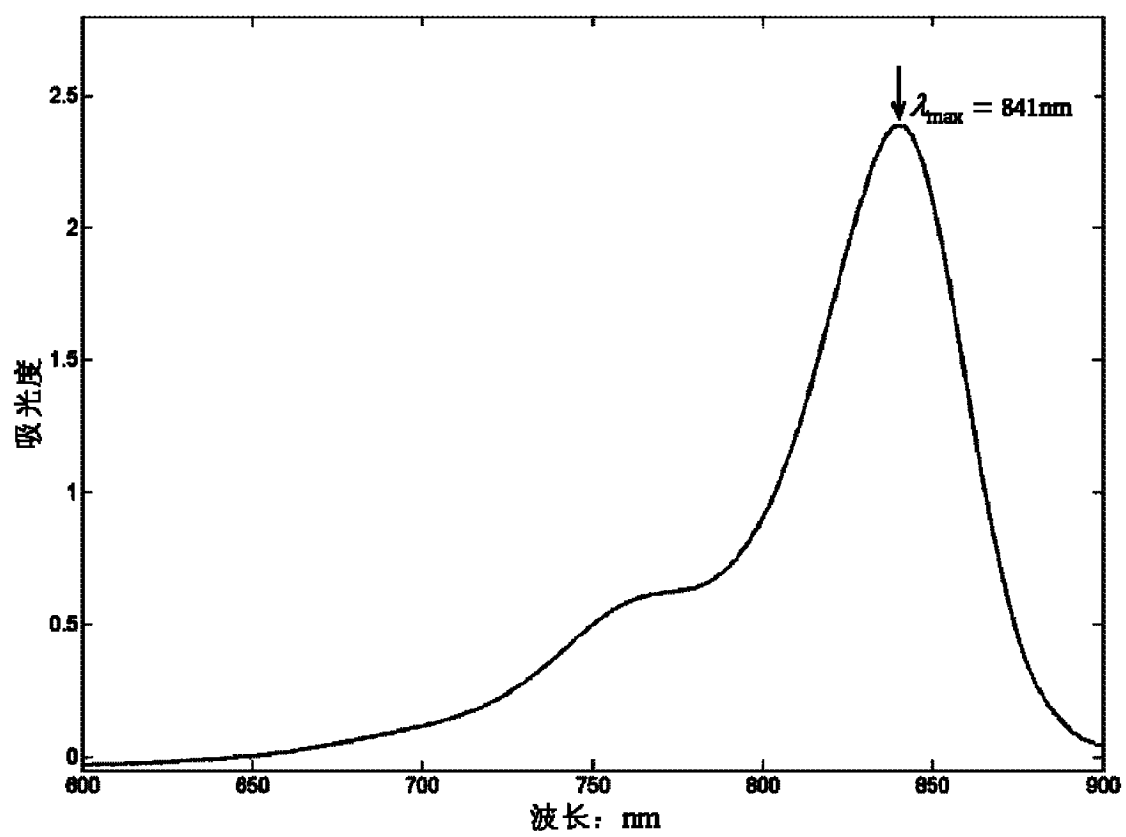


图 1

专利名称(译)	光学乳腺成像用固态仿体制作方法		
公开(公告)号	CN102093668A	公开(公告)日	2011-06-15
申请号	CN201010603222.4	申请日	2010-12-23
[标]申请(专利权)人(译)	天津大学		
申请(专利权)人(译)	天津大学		
当前申请(专利权)人(译)	天津大学		
[标]发明人	高峰 杨芳 范颖 赵会娟		
发明人	高峰 杨芳 范颖 赵会娟		
IPC分类号	C08L63/00 C08K13/02 C08K3/22 A61B5/00		
其他公开文献	CN102093668B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明属于生物医学工程技术领域，涉及一种光学乳腺成像用固态仿体制作方法，包括：近红外吸收染料溶解到环氧树脂里，制成吸收母液；获取吸收母液的吸收光谱曲线，计算吸收母液的用量；根据米散射理论计算制作仿体所需要的二氧化钛用量；称取吸收母液，按照所需要的二氧化钛的体积含量称取二氧化钛，将二氧化钛、吸收母液与环氧树脂混合并充分搅拌；将混合溶液放到真空泵中，抽取其中的气泡；根据需要做的仿体的形状及体积，准备模具；向模具中加入混合溶液和固化剂；沿同一个方向匀速搅拌使其混合均匀；再次抽取气泡；低温固化成型。本发明实现了制作具有稳定的物理性质、能长期保存的光学乳腺成像用固态仿体。

