

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101244629 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 11

(21) 申请号 200710148533. 4

US 20050248062 A1, 2005. 11. 10, 全文.

(22) 申请日 2007. 08. 29

审查员 黄璐

(30) 优先权数据

11/468, 090 2006. 08. 29 US

(73) 专利权人 3D 系统公司

地址 美国南卡罗莱纳

(72) 发明人 托马斯·艾伦·克瑞克斯

朱尼·P.·帕塔恩 陈勇

查尔斯·W.·赫尔

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 吴丽丽

(51) Int. Cl.

B29C 67/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

DE 19929199 A1, 2001. 01. 18, 全文.

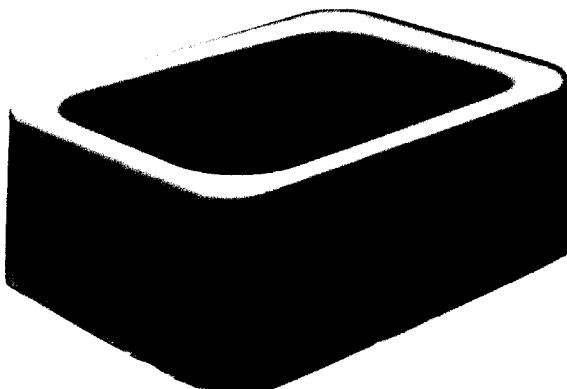
权利要求书2页 说明书10页 附图9页

(54) 发明名称

逐层形成三维目标的方法和设备

(57) 摘要

一种用于逐层形成三维目标的方法和设备，其利用随可变硬的光聚合物构建材料上的三维目标的截面的数字光投影图像的灰度或时间或二者而变化的曝光水平实现立体成像。投影像素的曝光的灰度水平允许控制投影的边界像素的聚合边界，以实现三维目标的保留的图像特征和平滑粗糙的或不均匀的边缘，否则这些粗糙的或不均匀的边缘在使用受到在图像的尺寸上投影的图像上的像素数目限制的数字光投影仪时会发生。软件被用来控制要应用到在投影到图像面上被暴露的截面的图像中要被照射的像素的强度参数。



1. 一种用于逐层形成三维目标的方法,包括以下步骤 :
 - a. 形成要被构建的三维目标的截面层的位图数据 ;
 - b. 把可变硬的光聚合物构建材料传递到成像区域 ;
 - c. 把来自辐射源的代表单个截面层的位图数据的图像投影到在成像区域中的可变硬的光聚合物构建材料上,以照射图像区域中的像素,从而有选择性地固化光聚合物构建材料 ;
 - d. 通过设定相邻像素的光强度从而在像素内的一点处提供等于或超过固化可变硬的光聚合物构建材料所需的临界能量的所需累积光强度,以子像素分辨率来控制构建材料的边界聚合 ;以及
 - e. 重复进行步骤 b、c 和 d 多次,直至多个目标截面被形成,以得到具有光滑的壁和良好的特征保持的目标为止。
2. 权利要求 1 的方法,其中步骤 (d) 是通过改变辐射源的边界像素的灰度值同时将所有边界像素的曝光时间保持为恒定而实现的。
3. 权利要求 1 的方法,其中至少一个步骤 (d) 是通过聚焦辐射源来控制每个像素照射的光分布的宽度,控制由辐射源的灰度曝光水平,以及控制由辐射源对像素的照射时间的组合而控制图像区域的曝光的组合来实现的。
4. 权利要求 1 的方法,其中辐射源是数字光投影仪。
5. 权利要求 2 的方法,其中将边界像素的灰度值加上给定范围内的随机数。
6. 如权利要求 1 的方法,其中设定相邻像素的光强度包括设定八个相邻像素的光强度。
7. 一种用于逐层形成三维目标的方法,包括以下步骤 :
 - a. 形成要被构建的三维目标的截面层的位图数据 ;
 - b. 把光投影仪表征为图像区域中像素的聚焦,以控制要被形成的目标的每个像素的照射的光分布的宽度 ;
 - c. 把光投影仪表征为在图像区域中像素的光强度分布与灰度水 平之间的关系,以及在图像区域内每个像素的照射时间,以控制在图像区域中每个像素的曝光期间传递的光能的量 ;
 - d. 把可变硬的光聚合物构建材料传递到成像区域 ;
 - e. 从光投影仪投影代表截面图像数据的图像,以照射图案照射图像面上的像素曝光,以有选择性地固化液体介质,并通过施加不同的曝光参数到图像面的不同的区域,以及通过设定相邻像素的光强度从而在像素内的一点处提供等于或超过固化可变硬的光聚合物构建材料所需的临界能量的所需累积光强度,以子像素分辨率来控制图像像素中可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界 ;以及
 - f. 对于每个截面图像数据重复进行步骤 (d) 和 (e),直至三维目标被构建为止。
8. 权利要求 7 的方法,其中所述位图数据通过以下步骤形成 :
 - (i) 接收要被构建的三维目标的数字数据 ;
 - (ii) 处理该数字数据,形成代表目标的截面层的切片数据 ;以及
 - (iii) 把切片数据转换成位图数据。
9. 权利要求 7 的方法,其中可变硬的光聚合物构建材料经由辐射透明的载体被传递到

成像区域。

10. 如权利要求9的方法,其中代表截面图像数据的图像通过辐射透明的载体被投影。

11. 如权利要求 7 的方法,其中设定相邻像素的光强度包括设定八个相邻像素的光强度。

逐层形成三维目标的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及在用于逐层形成三维目标的设备中使用的、一种在受像素的投影尺寸限制的图像投影系统中达到改进的壁光滑度和特性精度的技术,这种限制诸如是对于使用基于 DMD 或 LCD 的投影仪的光阀投影仪发生的。更具体地,本发明涉及一种用于通过利用使用随投影图像的灰度或时间或者这两者变化的曝光水平形成三维目标的设备和方法,以便在响应于由紫外线 (UV) 或可见光进行的曝光从可变硬的光聚合的介质形成的三维目标中得到在 xy 平面上和在 z 轴边缘的增强的光滑度、特性精度和更好的分辨率。

[0002] 背景技术

[0003] 近年来,已开发出许多不同的快速产生三维模型的技术用于工业应用。这些立体成像技术有时被称为快速原型和制造 (“RP&M”) 技术。通常,快速原型和制造 (“RP&M”) 技术利用代表要形成的目标的截面的分片的数据组从工作介质逐层地构建三维目标。典型地,目标表示最初由计算机辅助设计 (CAD) 系统提供。

[0004] 立体平版印刷术 - 当前最通用的 RP&M 技术 - 是第一个商业上成功的、从 CAD 数据创建三维目标的立体成像技术。立体平版印刷术可被定义为用于从流体状的光聚合物构建材料利用在工作面上对材料的层的选择性曝光来固化和粘结目标的连续的层 (即,分层) 而自动制作三维目标的技术。在立体平版印刷术中,代表三维目标的数据作为 - 或被变换为 - 代表目标的截面的二维层数据被输入。光聚合物构建材料的层通过使用计算机控制的紫外线 (UV) 辐射激光束根据二维层数据被连续地形成并被有选择性地变换或硬化 (即,固化) 成连续的分层。在变换期间,连续的分层被粘结到先前形成的分层,以允许整体形成三维目标。这是相加的过程。最近,立体平版印刷设计利用了数字化光处理技术,其中可见光引起聚合化反应以固化光聚合物构建材料 (即,也称为树脂)。

[0005] 立体平版印刷术代表了一种不用工具快速制作复杂的或简单的部件的前所未有的方法。由于这种技术取决于使用计算机来生成它的截面图案,所以有与 CAD/CAM 的自然数据链接。这样的系统会遇到并且必须克服与收缩、弯曲和其它变形以及分辨率、精度有关的困难和在产生某些目标形状时的困难。虽然立体平版印刷术本身已经表现为用于形成三维目标的有效技术,但随着时间也开发出了其它立体成像技术,解决在立体平版印刷术中固有的困难以及提供其它 RP&M 优点。

[0006] 这些替代技术,连同立体平版印刷术一起,一同被称为立体自由形状制作或立体成像技术。它们包括分层的目标制造 (LOM)、激光烧结、熔化沉积建模 (FDM), 以及各种基于喷墨的系统,以便将液体粘结剂传送到粉状材料或构建材料,通过温度改变或光固化处理而被固化。每个这些附加技术在精度、构建速度、材料特性、降低成本、和构建目标的外观的一项或多项方面带来各种改进。

[0007] 在立体成像或立体自由形状制作发展的同时,二维成像工业开发出了在屏幕上或者在印刷工业的情况下,在接收基片上移位投影图像的方法。这些方法解决了数字光投影仪产生粗分辨率的图像的基本问题。数字光投影仪典型地对于 10.24 英寸 × 7.68 英寸的图像尺寸只投影每英寸 100 个像素,所以它们的分辨率受像素尺寸限制。照相印刷工业具

体地利用移位二维图像的技术,通过各种技术提高分辨率,包括移动光源或光阀。其它方法包括移动或移位照相纸,使用偏振或双折射板,以及在图像投影系统的情况下使用多个空间光调制器。所有这些系统解决当投影重新定尺寸的数字图像时图像失真的固有限制,或者诸如液晶显示器(LCD)或数字微镜面器件(DMD)那样的光阀投影仪具有固定数目的像素的问题。试图对于在立体成像应用中的数字图像 投影利用图像移位技术,因为产生目标的三维外观,带来独特的问题。二维数字图像投影在被应用到三维立体成像时的问题引起错误的特性放置、特性细节的潜在损失、以及在目标的弯曲或边缘处的光滑度被构建为粗糙化或不均匀并被很差地限定。最近,开发出了使用像素移位的技术以解决这个问题。然而,这些方法存在需要多次曝光各个像素的缺陷,由此固有地减慢了处理过程,并且需要机械硬件来完成像素移位。另外,当对于诸如像素移位那样的技术使用多次曝光时,必须要解决对准问题,以保证正确地布置曝光区域,以得到最大的分辨率和想要的边缘光滑度。

[0008] 最后,虽然作出了很大的改进,但还没有一种现有的立体自由形状制作方法能实现在短的构建时间内产生高度精确的和视觉表现的三维目标的真正的低成本系统。

[0009] 这些问题在本发明的设计中通过组合新的立体成像技术与数字成像投影的使用以使得在三维目标制造中以相对较低的成本且不需要附加硬件就能提供精确的目标特性而同时达到高分辨率和目标壁光滑度而加以解决。

发明内容

[0010] 本发明一方面提供了一种在使用UV或可见光和可变硬的光聚合物构建材料的三维目标构建中实现改进的壁光滑度、特性精度和分辨率的设备和方法。

[0011] 本发明的另一方面是,在截面上的每个投影像素的灰度曝光水平或在图像区域内的每个像素的照射时间或者这两者被用来在被投影到可变硬的光聚合物构建材料上的每个图像截面的曝光期间改变光能量的水平,以便控制可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界,以使得当三维目标被构建时,在经由边缘或壁布置的投影像素图像中得到光滑边缘和精细特性保持。

[0012] 本发明的再一个特性在于,对于随着图像区域内的每个像素的灰度或照射时间或者这两者而变化的曝光水平,利用投影图像的失焦特性,以便更好地控制被曝光的可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界。

[0013] 本发明的另一个特性在于,软件被用来表征通过数字光投影仪投影到可变硬的光聚合物构建材料上的图像的光强度与灰度水平之间的关系,从而优化要构建的三维目标的图像投影。

[0014] 本发明的再一个特性在于,对于每个像素的光分布的宽度可以由数字光投影仪的聚焦程度来控制。

[0015] 本发明的又一个特性在于,对于诸如数字光投影仪那样的辐射源的曝光水平可以通过以下措施中的任一项来表征(即,被控制和精细地调节):(1)改变辐射源的灰度水平,或(2)不同地控制不同像素的照射时间,或(3)改变聚焦程度,以控制每个像素照射的光分布的宽度,或(4)改变光的强度与辐射源(例如,投影仪灯)的工作时间的关系,或(5)组合以上措施,以改变投影像素的能量水平,使得可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界通过提供对于引发光聚合的临界能量Ec的足够的光能而被控制。

[0016] 本发明的一个优点在于,得到一种提供在投影图像上光滑的目标边缘以及精确的特性和良好的分辨率而不需要附加机械硬件的低成本立体成像设备。

[0017] 本发明的另一个优点在于,得到在逐层构建的三维目标的每个截面上的精确特性布置,以使得精确特性布置不会由于可以由数字光投影仪在单个图像投影上所投影的固定数目的像素而丢失。

[0018] 本发明的再一个优点在于,数字光投影仪的特征在于在 X 和 Y 方向上光强度宽度作为像素位置的函数,以实现光滑的图像边缘和具有增强的图像分辨率的较小的图像粒度。

[0019] 这些和其它方面、特性和优点是通过使用立体成像设备和方法的本发明而得到的,该立体成像设备和方法利用截面的图像区域中的边界像素的灰度曝光水平和确定由数字光投影仪投影到可变硬的光聚合物构建材料上的图像的边界像素的灰度曝光水平的软件,从而优化由其特征为光强度宽度以及光强度与灰度的关系控制在形成目标边缘或壁的边界像素中可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界的投影仪所投影的图像,从而能构建三维目标,而不会丢失特性或非均匀的或粗糙的边缘,同时保持高分辨率。

附图说明

[0020] 通过考虑本发明的以下的详细说明,特别是当结合以下的附图考虑时,将明白本发明的这些和其它方面、特性和优点,图中:

[0021] 图 1 是光强度与灰度级别的关系的示意图;

[0022] 图 2 是在图像平面上的一个点处的光强度的积累的示意图;

[0023] 图 3 是使用树脂成分作为可变硬的光聚合物构建材料的光强度与光聚合物构建材料固化的关系的示意图;

[0024] 图 4 是在灰度级别值与边界位置之间的相关性的示意图;

[0025] 图 5 是用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的图形表示,其中第一像素的曝光强度被改变为 5 个不同的级别,显示当灰度级别增加或减小时,在投影的边界像素中光聚合物构建材料(树脂)的聚合边界的控制;

[0026] 图 6 是显示对于 1.0 的曝光水平和具有 6.7 密耳 (mil) (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔的、用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的曝光强度的图形表示;

[0027] 图 7 是显示对于边界像素的 0.8 的曝光水平和具有 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔的、用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的曝光强度的图形表示;

[0028] 图 8 是显示对于边界像素的 0.6 的曝光水平和具有 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔的、用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的曝光强度的图形表示;

[0029] 图 9 是显示对于边界像素的 0.4 的曝光水平和具有 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔的、用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的曝光强度的图形表示;

[0030] 图 10 是显示对于边界像素的 0.2 的曝光水平和具有 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的

半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔的、用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的曝光强度的图形表示；

[0031] 图 11 是显示对于边界像素的 0.0 的曝光水平和具有 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔的、用高斯分布建模的 4 个相邻的像素的曝光强度的图形表示；

[0032] 图 12 是由在图像面上的目标的直线边界覆盖的像素的示意图，显示对于边界像素、内部像素和外部像素的不同的灰度级别；

[0033] 图 13 是由在图像面上的目标的曲线边界覆盖的像素的示意图，显示对于边界像素、内部像素和外部像素的不同的灰度级别；

[0034] 图 14 是由利用成像处理的设备利用曝光的水平而不用灰度级别制作的三维目标的照片，显示粗糙的边缘壁；以及

[0035] 图 15 是由利用成像处理的设备利用曝光的水平并使用灰度级别制作的三维目标的照片，显示光滑的边缘壁。

具体实施方式

[0036] 这里公开的这种类型的优选的灵活的输送立体成像牵涉到从由辐射透明的具有柔韧性的载体，诸如无接头环带或往复或伸展和收缩的透明塑料薄膜片传递的可见光或 UV 可变硬的光聚合物构建材料逐层构建物体。如在本文中使用的术语“透明的”是指任何适当的材料，它允许足够的辐射（诸如 UV 或可见光）传送通过它，以实现光聚合反应。因为这些透明的材料可以是非常薄的，该术语也包括半透明的或部分透明的材料。辐射透明的具有柔韧性的载体作为重新涂覆器工作，它把新鲜的可变硬的光聚合物构建材料传递到成像区域，用于在初始层后形成的后续层。可变硬的光聚合物构建材料从卡盒施加到辐射透明的具有柔韧性的载体，利用适当的机制把光聚合物传送到具有柔韧性的输送装置，以便提供新鲜材料，在目标构建时创建新的层。被放置在载体上的构建材料然后被一次一个截面地成像。每个截面可以被成像在全部截面图像区域，或者更优选地，可以局部地成像在该图像区域（例如，首先对于每个截面成像要被构建的部分的里面部分，然后成像要被构建的部分的边界部分）。用于要被构建的三维目标的光聚合物的每个层最好通过从数字 UV 投影仪、数字可见光投影仪或提供 UV 辐射和可见光的数字光投影仪投影的辐射被成像。投影仪包括空间光调制器，诸如有选择性地照射用于成像的像素的数字微反射镜设备（“DMD”）。UV 辐射和可见光投影是优选的方法。这些部件被适当地安装到在被转让给本发明的受让人的美国专利申请序列号 11/416,812 中公开的那种类型的设备的框架上。应当指出，本发明的成像步骤对于边界像素不需要如通常对于像素移位操作所需要的多个图像。

[0037] 立体成像部件最好被构建在升降平台上，它上下移动构建目标或部件，使其与可变硬的光聚合物构建材料接触，以及在曝光后，当在构建过程期间形成接连的层或分层时上下移动它，使它不与可变硬的光聚合物构建材料接触。构建目标可被构建在被称为支撑的结构上，而不是直接构建在升降平台上。支撑被用于构建没有支撑表面或部分没有支撑表面的更复杂的三维目标。

[0038] 可以利用市面上可以买到的数字光投影仪，可选地被修改成具有较短的聚焦长度，诸如从 Wilsonville 的 InFocus Corporation, Irvine, CA 的 Oregon 和 BenQ

America Corp. 可买到的那些投影仪。然而,数字光投影仪固有地具有有限的分辨率。例如,如果 1024×768 像素图像被投影在 10.24 英寸 $\times 7.68$ 英寸的区域上,有效的分辨率是 100dpi (每英寸 100 点)。在这种情形下,最小特性尺寸是 0.010 英寸,部分特性可以被放置在偏离它们的正确的位置 0.005 英寸,以及在离 X 或 Y 轴 45° 处拉伸的壁将具有 0.007 英寸的峰到峰粗糙度。

[0039] 市面上销售的数字光投影仪产生具有粗分辨率的图像,如上所述,因为它们的分辨率受像素尺寸限制。由市面上销售的数字光投影仪生成的图像的 1024×768 像素限制了能够在支撑平台上构建的三维目标的尺寸,因为分辨率随构建平台尺寸的增加成比例地降低。在典型的市面上销售的光投影仪中的图像尺寸限制在 X 轴方向上的分辨率为 1024 像素和在 Y 轴方向上的分辨率为 768 像素,由此产生粗糙 的图像。另外,市面上销售的光投影仪不能完美地聚焦,因此每个投影仪的固有像差导致模糊的像素。这个“失焦”条件在像素图像区域上变化。此外,对于各个投影仪有不同程度的“失焦”条件。然而,利用像素的固有模糊度和对于每个边界像素采用灰度曝光水平在光学固化的可变硬的构建材料的曝光期间改变光强度水平,诸如液体树脂配方,允许投影的边界像素的灰度值在单次曝光时在该像素上控制形成目标的可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界,以实现被构建的立体图像或三维部分的大得多的构建目标精度和壁光滑度。因此能够对应于投影的边界像素或在 X 和 Y 平面上的多个像素控制可变硬的构建材料的聚合边界,上述的 10.24 英寸 $\times 7.68$ 英寸面积看起来好像它具有比起仅仅 100dpi 大得多的有效分辨率。也可以利用更大的构建平台以及可以制作更大的目标。

[0040] 数字光投影仪控制一组非常小的反射镜,把光反射到相关的像素。通过控制反射或照射时间,在图像面上每个投影的像素的光强度 K 可以从 0(黑色)改变到 1(白色),不同的灰度水平从 0 到 255。图 1 显示在像素上对于典型的投影仪输入的光强度与灰度水平的关系。灰度水平的优选范围是从约 60 到约 255。灰度水平的更优选的范围是从约 100 到约 255。

[0041] 市面上销售的数字光投影仪的固有特性,即图像中的像素是模糊的或具有稍许图像模糊,导致光强度覆盖相邻的像素。为了进一步说明,这个光强度分布可以近似为高斯分布,但实际上光分布可以采取许多不同的形式。在点 (x, y) 处的光强度 K 实际上是所有相邻的像素对于点 (x, y) 的光强度贡献的总和。这些不同的光强度的积累在图 2 中示出。本发明利用这样的事实:在点 (x, y) 处的光强度是点 (x, y) 的相邻像素的所有光强度混合的结果。像素的光强度随着它远离像素的中心而减小。所以,通过调节数字光投影仪的光学系统以得到像素的某些图像模糊,像素的光强度散布到它所有的相邻像素上。这是在图 2 上对于位于内部像素中的一个点的八个相邻像素看到的。在这个点处在形成边缘或目标的壁的边界像素的场合下,有较少的相邻像素,对于位于拐角壁的点有 3 个相邻像素,而对于位于边缘或远离拐角的壁像素的点有 5 个相邻像素。

[0042] 图 4 显示当灰度值增加时在灰度值与边界位置之间的相关性。图中显示了当边界像素的强度从灰度值 0 改变到灰度值 255 时的边界位置。该图表示一开始由于数据的分散低于 0 的数值。然而,该数据确实显示了当强度增加到超出所述范围时边界位置上有明显的 1 个像素改变。

[0043] 几何特性和目标边界的分辨率可以通过使用基于图 2 的灰度技术而被改进。如果

光强度 K_1, K_2 和 K_3 都是 1, 以及 K_7, K_8 和 K_9 都是 0, 则由来自像素 4, 5, 和 6 的光能量形成的边界可以通过将光强度 K_4, K_5 和 K_6 设置为在 0 与 ~1 之间的不同的光强度而具有高得多的分辨率。

[0044] 对图像区域（也称为图像面）的曝光的控制可以通过控制某些曝光参数而实现。由辐射源传递到目标基片的能量可以由以下关系式表示：曝光 = 辐射强度 × 曝光时间。这种关系在控制曝光参数时被利用。一个参数是控制在形成要被构建的三维目标的截面的平面内每个像素的照射时间。作为替代，控制曝光水平的另一个参数可以是例如通过改变灰度水平同时对于所有的边界像素保持曝光时间不变而改变光强度水平。第三个参数是改变投影像素的光强度的宽度。这可以通过改变投影像素的聚焦程度而实现。这个参数可以随图像区域的不同位置而变化。这三种技术可以分别采用，以不同的组合结合采用，或者全部同时结合采用。各个投影仪可以通过用数码照相机测量在图像区域内选择的像素处的投影强度来表征在 X 和 Y 平面上它的像素强度宽度作为像素位置的函数。这个信息然后被存储在立体成像设备中，用来得到在图像面上最佳图像性能和在要形成的目标上聚合边界的精确控制。可以被控制的第四附加参数是光强度与投影仪中的灯的使用时间之间的关系。由于灯的强度以及所传递的光的能量随时间而减小，灯对于传递的能量的老化效果必须通过增加灯的曝光时间而得以补偿，使得相同的数目的光子在时间上传递到投影的像素。强度常规地由辐射计测量。最后。必须使这四个参数针对特定的可变硬的光 聚合物构建材料、特别是树脂配方完成校准，因为每种可变硬的光聚合物构建材料都具有它自身的特定特性，诸如影响聚合的感光速度。

[0045] 图 12 和 13 示意地显示在要被制作的三维目标的图像区域上对于边界像素、内部像素和外部像素使用不同的灰度水平曝光。图 12 显示在图像区域上由目标的直线边界覆盖的边界像素，灰度值水平在目标边界外面是 0，沿像素边界是从 90 改变到 240，以及在目标里面是 255。图 13 显示在图像区域上由目标的曲线边界覆盖的像素，灰度值水平在目标边界外面也是 0，沿像素边界是从 60 改变到 200，而在目标里面也是 255。

[0046] 关于对于被使用的特定可变硬的光聚合物构建材料必须进行调谐的光强度或灰度曝光水平，再次参考图 2。这种调谐是通过调节在点 (x, y) 处的像素和它的 8 个相邻像素的不同光强度 K_1-K_9 来实现的，使得所希望的累积光强度 K 对于根据在形成目标截面的图像区域中的每个像素的照射时间在该点固化可变硬的光聚合物构建材料是足够的。当累积的光强度 K 等于或超过对于固化可变硬的光聚合物构建材料、诸如液体树脂配方所需的临界能量 E_c 时，该构建材料将固化，并加到要形成的目标的几何形状上。在累积的光强度小于临界能量 E_c 的情况下，构建材料将保持非固化的或液体状态。这种关系显示于图 3 中，其中可变硬的光聚合物构建材料是树脂配方。

[0047] 对于典型的树脂，临界能量 E_c 比起用来对该层进行曝光的能量小得多，或许是 20% 或更小。对于在本发明的设备中采用的典型的树脂的 E_c 优选地约为所利用的层曝光能量的约 10% 到 12%。查看图 5，假设 E_c 被表示为 0.2 的强度水平，被固化的区域的宽度根据边缘像素的光强度变化。由于来自像素的光强度随灰度而变化，形成边缘或区域的边界的可变硬的构建材料的聚合可以通过改变边界像素的灰度而被控制，如图 5 所示。

[0048] 在本发明的一个应用中，可变硬的光聚合物构建材料或树脂配方经由辐射透明的具有柔韧性的载体、诸如聚丙烯或聚碳酸酯薄膜被传递到成像区域。光聚合物以薄层的形

式被敷设到具有柔韧性的输送薄膜上,该输送薄膜可以是无接头环带或往复的薄膜片或可伸展和收缩的薄膜片的形式。

[0049] 数字光投影仪是辐射源或光源,它在曝光形成在支撑平台上的三维目标的截面时经由多个小的可移动反射镜对于所选的像素照射到图像面上来投影图像。支撑平台上升和下降,使得截面层与来自可变硬的光聚合物构建材料卡盒的、被沉积在具有柔韧性的输送薄膜上的构建材料的层接触。构建可以是正面朝上,目标在支撑平台的顶部上构建,或者相反,从支撑平台向下悬垂。所述卡盒容纳着或者以流体流动的方式与被敷设到具有柔韧性的输送薄膜的诸如液体树脂配方的可变硬的光聚合物构建材料的构建材料供应库相通。也可以采用透明的背板。通过照射所选的像素的图像截面的曝光产生了要形成的三维目标的截面的固化部分。

[0050] 现在参照图 5,图中显示通过组合使用改变曝光强度水平和像素强度宽度或投影像素聚焦程度而在投影的边界像素中可得到的聚合边界控制的量。这产生了稍微图像模糊并影响了被传递到边界像素的光能的量,以控制可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界,从而以子像素分辨率限定目标的边界像素中一个特征的边缘或边界的有效位置。改变强度曝光水平是通过改变照射或曝光时间和 / 或灰度曝光水平而实现的。这种技术比起仅仅以像素分辨率呈现能实现高得多的图像边界分辨率。图 5 显示 4 个相邻的像素,其中第一像素的曝光强度被改变为 5 个不同的水平,像素具有 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 峰到峰间隔。

[0051] 图 6-11 显示 4 个相邻的像素,其曝光强度从 1.0 以相等的曝光强度递减量改变到 0.0,以及在各种情形下光强度的积累的总和或混合结果。在每个图 6-11 中,像素具有作为高斯光分布的 6.7 密耳 (0.0067 英寸) 的半最大值的全部宽度 (fwhm) 和 5 密耳 (0.005 英寸) 的峰到峰间隔。图 6-11 都具有用高斯分布建模的像素的光强度,

[0052] 所以,从图 5-11 和前面的讨论可以看到,通过在边界像素中使用不同的灰度值改进目标的边界的分辨率和目标的特性是所希望的 和可能的。图 14 和 15 显示通过使用具有柔韧性的输送立体成像系统和处理过程的设备制作的三维目标的边缘壁的差别。图 14 显示了用没有采用灰度的曝光水平制作的目标的接近垂直壁的粗糙的边缘壁。图 15 显示通过使用相同的具有柔韧性的输送立体成像系统和处理过程的相同的设备,但利用具有不同的灰度级别的曝光水平制作的相同的三维目标的改进的几何形状和更加光滑的边缘壁。

[0053] 应当指出,投影图像是在 X 和 Y 方向上具有边缘的二维图像。当通过分层多个截面层制作三维目标时,制作的目标在 Z 方向或第三方向上延伸。本发明实现了在各个二维截面图像投影中投影图像的边缘光滑度。当每个单个的二维截面图像投影聚合可变硬的光聚合物构建材料时,固体层相应于曝光的投影像素区域被形成在可变硬的光聚合物构建材料上。在构建过程中互相粘结或累积重叠的多层截面层,本发明形成具有从在各个截面层中多个粘结的光滑边缘形成的光滑的壁的三维目标。

[0054] 在工作时,用于要被构建的三维目标的数字数据被发送到立体成像系统。这最好是来自 CAD 站 (未示出),它把 CAD 数据变换为适当的数字层数据格式,并把它馈送到计算机控制系统或主机计算机 (也未示出),在其中目标数据被处理,经由算法来优化数据,并提供用于数字光投影仪的开 / 关指令。作为替代,这个数字数据可以由立体成像系统通过数字化物理部分或从图案文件被接收。通过 CAD 数据或通过数字化物理部分或有时从图案

文件得到的立体成像层的数据优选地由主机计算机利用分片程序创建代表要被构建的目标的截面层的截面数据来处理。从图案数据得到的立体成像层数据有时不被切片，但图案直接被用作为位图截面。本发明的这些步骤以与标准立体平版印刷术处理过程相同的方式进行。从分片程序得到的分片数据被转换成位图数据。通过使用灰度软件程序，主机计算机计算当构建材料被曝光时对于控制可变硬的光聚合物构建材料的聚合边界所需要的灰度曝光水平。立体成像设备中的微处理器控制器或计算机接收要形成的目标的位图输入。然后由立体成像设备中的控制器或计算机把算法施加到比特映射的截面数据，以创建用于数字光投影仪中诸如微芯片的控制器的指令。数字光投影仪先前已通过观察在图像区域（或平面）上像素的聚焦程度而表征了投影光像素的聚焦。投影仪还通过使用辐射计记录在图像区域的所选像素位置处的光强度来表征它的光强度分布，并且聚焦和照射时间按照需要被调节。照射时间根据光强度、数字光投影仪中灯的工作时间和所要采用的特定的可变硬的光聚合物构建材料进行调节。辐射透明构建材料载体把可变硬的光聚合物构建材料从供应库或卡盒传递到成像区域。成像区域由支撑平台支撑，支撑平台可移动地安装在立体成像设备的框架上，以便拉伸和收缩在其上聚合可变硬的光聚合物构建材料和把它形成为三维目标的支撑平台。数字光投影仪通过投影代表在要被形成的截面中的比特映射截面数据的图像，以所希望的照射图案并以所希望的曝光水平照射在三维目标的边界内在图像区域中选择的像素。所希望的曝光水平是通过将数字光投影仪表征为一个或多个先前讨论的曝光参数和响应于该特征当需要时调节曝光水平而得到的。在图像区域中来自数字光投影仪的所希望的曝光水平允许投影图像有选择性地固化光聚合物构建材料，并通过把不同的曝光参数应用到图像面的不同区域来控制投影的像素化图像中光聚合物构建材料的聚合边界。支撑平台然后被移动，使其不接触辐射透明的构建材料载体，从而准备好在下一次曝光之前接收新的或未固化的可变硬的光聚合物构建材料。对于每个截面层重复进行传递可变硬的光聚合物构建材料、照射支撑平台上的图像区域、以及重新定位支撑平台以接收可变硬的光聚合物构建材料的新的供应的步骤，直至完成三维目标为止。

[0055] 用于基于实验数据确定灰度的算法选择用于更高的灰度值曝光或照射的像素，其具有在特定的像素内目标特性的较大部分。虽然在边界处固化的光聚合物构建材料的量对于不同类型的材料和不同的数字光投影仪将是变化的，但在灰度水平与沿边界像素固化的光聚合物构建材料的量之间的关系通常遵循相同的模式。像素的灰度值 K 根据处在部分或特性内的像素的面积被设置。被分配给像素的灰度值 K 是比值 $r [K = f(r)]$ 的函数，其中 r 是处在部分或特性内的像素的部分的面积 A' 与像素的总面积 A 的比值或 $r = A' / A$ 。然而，灰度值是对于边界像素和它们的相邻像素所需要的，因为对于在部分或特性内的像素比值是 1，而对于在部分外的像素比值是 0。在部分或特性内的边界像素的部分的面积的数值是基于超级采样，并接近于在部分或特性内的像素的部分的面积 A' 的数值。这种超级采样方法适合于和基于图像的分片算法一起使用。

[0056] 该算法把目标特性的某些部分传送通过的边界像素划分成 $k \times k$ 矩阵中的一组子像素 P_{ij} 或子像素 P_{ij} 的子划分。该算法然后对在它的中心处的每个子像素 P_{ij} 进行采样，确定它是否被目标特性的某些部分覆盖。被目标特性的某些部分覆盖的这些子像素 P_{ij} 的总的面积接近于在部分或特性内被划分的像素的部分的面积 A' 。对于具有 $k \times k$ 子划分的像素，比值 r 可被表示为由目标特性的某些部分覆盖的子像素 P_{ij} 的总的面积之和值除以 $k \times k$

子划分部分,或

[0057] $r = \sum P_{ij} (\text{覆盖}) / (k \times k)$

[0058] 通过使用这个方法,目标构建的边界分辨率由形成 $k \times k$ 矩阵或子划分的上述子划分部分的数目确定。例如,4×4 矩阵具有 16 个不同的灰度值和由像素尺寸 /4 确定的边界分辨率。类似地,对于 8×8 矩阵,有 64 个不同的灰度值和由像素尺寸 /8 确定的边界分辨率。

[0059] 对于用于指令哪些像素用于投影仪显示的、刚才讨论的超级采样技术的替代算术方法可以是基于边界面积的计算。在每个像素内的投影目标的边界内的面积计算使用实际的或接近近似的边界分段创建在每个像素的边界内的不同的几何形状。该算法将计算在传送通过每个像素的边界分段内要被照射的每个几何形状的确切的或近似的面积,以及把面积相加,生成在目标的每个截面中要投影的目标或特性的边界分段内确切的或近似确切的面积。

[0060] 在使用所述的灰度曝光水平制作的目标的目标边界上仍旧可能有可观察到的图案形式的可见系统边界误差。无可否认地,通过对于边界像素使用不同的灰度曝光水平,这些误差小了 $1/k$ 倍,不太容易发觉,但靠近检查时仍然可以看到。在边界像素的灰度值中引入随机化可以产生在它的边界上没有任何可看到的图案的制作目标。这可以通过加上在给定范围内的随机数 Δf ,并把 $f(r) + \Delta f$ 指定为像素的灰度值或通过使用查找表来实现,在查找表中对于任何给定的面积比值 r 来自查找表的返回数值 $f(r)$ 在给定的范围内变化。

[0061] 如上所述,紫外线 (“UV”) 数字辐射投影仪或可见光数字投影仪或使用 UV 辐射和可见光的数字光投影仪系统可用来固化可变硬的光聚合物构建材料。在本发明的实践中可以采用能够响应于适当形式的能量激励的施加而变硬的、任何适当的可流动的或可扩散的介质,例如液体、凝胶、膏剂或半流体材料(例如,液体材料与悬浮在其中的固体材料的混合物)和它们的组合。许多液体状态化学物质是已知的,它们可被引入,以通过 UV 辐射或可见光照射变为固态聚合物塑料。可以在本发明的实践中用作可变硬的光聚合物构建材料的适用的可固化的光聚合物是下面的表 1 中显示的 Acrylate-24(丙烯酸盐)。这个配方当被用于 BenQ PB7220 投影仪时表现出优良的分辨率和感光速度。所创建的部件显示出优越的绿色强度,具有平衡的坚硬度和耐久性。

[0062]

表 1	重量单位	重量百分数 (%)
Acrylate-24		
PRO 6817(来自 Sartomer 公司)	4.8	23.02
SR 833S(来自 Sartomer 公司)	3.5	16.79
Ebecryl 83(来自 UCB Chemicals 公司)	2.4	11.51
PRO 6169(来自 Sartomer 公司)	5.2	24.94
SR 531(来自 Sartomer 公司)	3.6	17.27
Irgacure 1-907(来自 Ciba Specialty Chemicals 公司)	0.75	3.60
Irgacure 1-819(来自 Ciba Specialty Chemicals 公司)	0.6	2.88
总计	20.85	100.00

[0063] [0062] 添加物可被引入到配方中,促进从诸如丙烯酸硅材料那样的透明输送装置的释放的能力。

[0064] 还应当指出,本发明可被用来制作目标中的特征,诸如小于投影仪的像素尺寸的

开孔。这是通过调节相邻像素的曝光以使得对于光聚合所用的特定光聚合物所需的临界能量 E_c 小于对于在开孔内区域的 E_c 和大于对于开孔外面的区域的 E_c 。通过使用这种控制相邻像素的灰度值和包含开孔的像素的灰度值的技术, 具有例如 0.008 英寸的分辨率的投影仪可以生成具有例如 0.004 英寸的直径的开孔, 因为只有在开孔外面的光聚合物被固化, 而在开孔内的光聚合物仍保持为液体。

[0065] 虽然本发明是参照具体的实施例描述的, 但可以看到, 可以在不背离这里公开的本发明的构思的条件下在材料、部件的安排和步骤上作出许多改变、修改和变化。例如, 图像曝光参数控制技术同样可被用于具有容纳在其上投影图像的工作面的大缸 (vat) 的、修改的立体平版印刷术设备, 但它利用 UV 辐射、可见光、或组合 UV 辐射和可见光数字图像投影仪, 而不是激光器。可以容易修改的这样的立体平版印刷术设备的例子是由 3D Systems, Inc., 即本发明的受让人, 销售的 Viper si2TM SLA [®]。该图像投影仪利用控制装置和软件来控制如这里所述的曝光参数, 控制在从可变硬的液体介质形成的三维目标的投影截面的图像上的边界像素的聚合的边界的定位。液体介质通过深度浸涂技术或通过使用重新涂覆器把液体材料的新的层放置在要形成的三维目标的已经曝光和变硬的截面上, 而形成要被固化的新的层, 如在美国专利 No. 5, 902, 537 和 6, 048, 487 中所描述的, 这二者都转让给本发明的受让人。因此, 所附权利要求的主旨和广义范围包括了本领域技术人员在阅读本公开内容后所能想到的所有这样的改变、修改和变化。这里引述的所有专利申请、专利和其它出版物整体地在此引用以供参考。

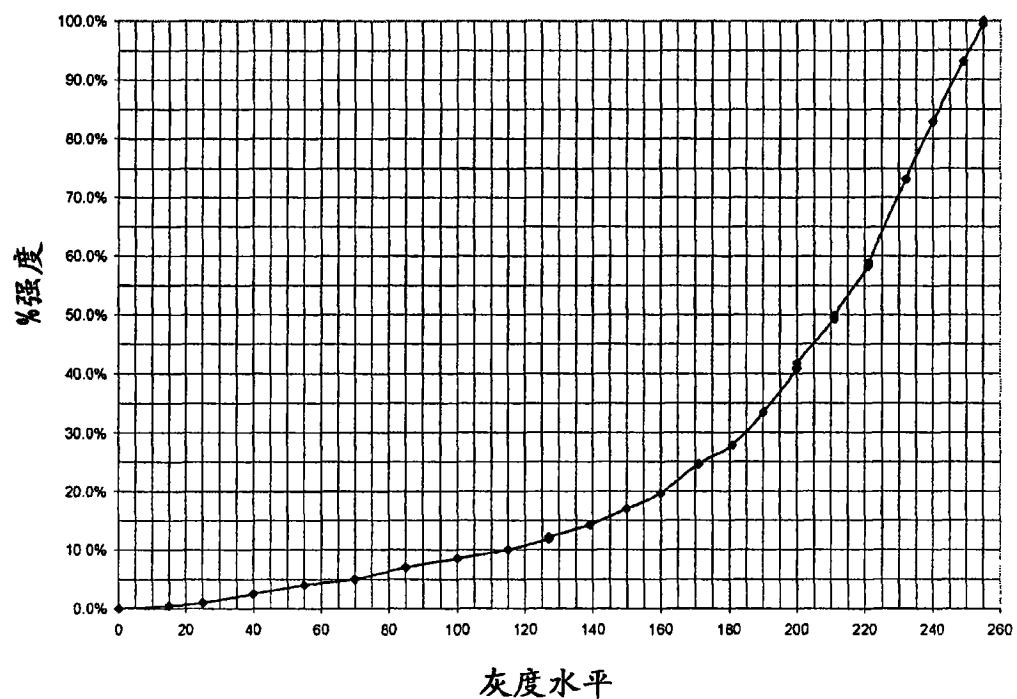


图 1

K_1	K_2	K_3
K_4	K_5 (x, y)	K_6
K_7	K_8	K_9

图 2

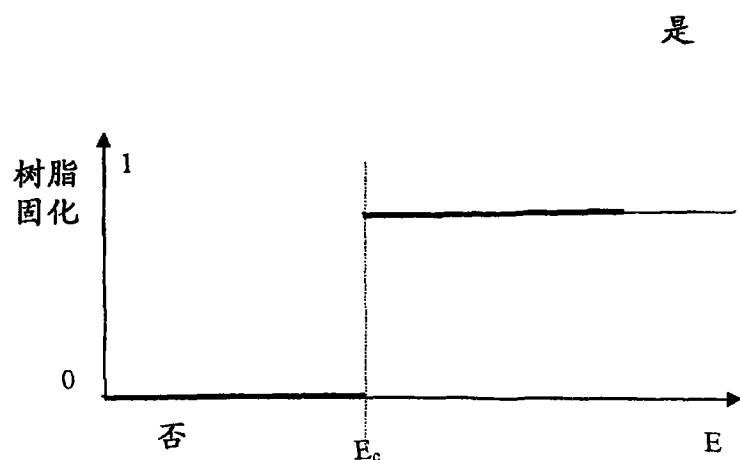


图 3

聚合边界控制与灰度之间的关系

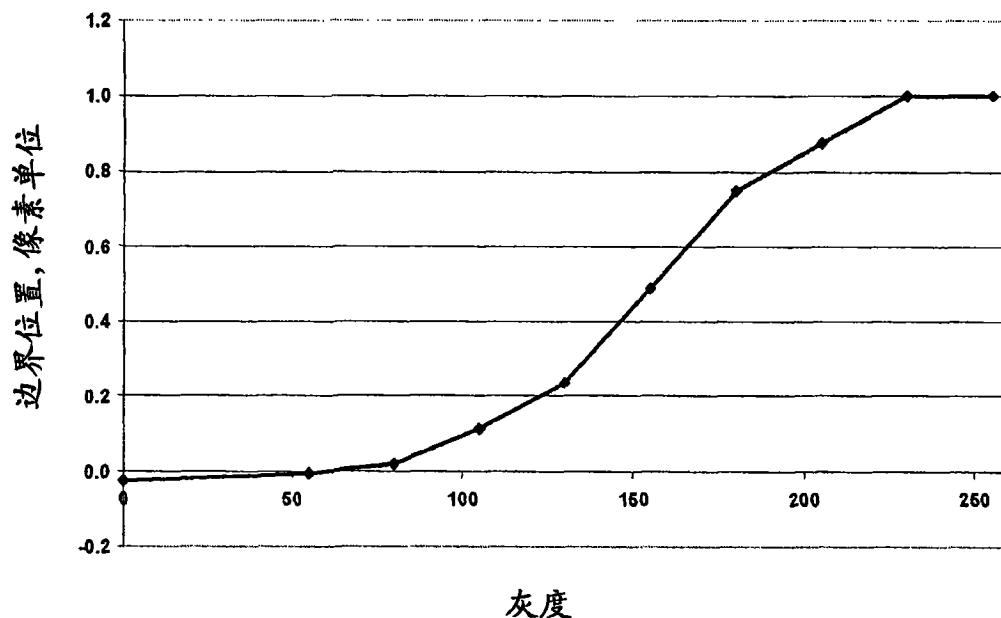


图 4

对于5个曝光水平的增强的边缘分辨率
像素间距0.005英寸
强度宽度0.0067英寸fwhm

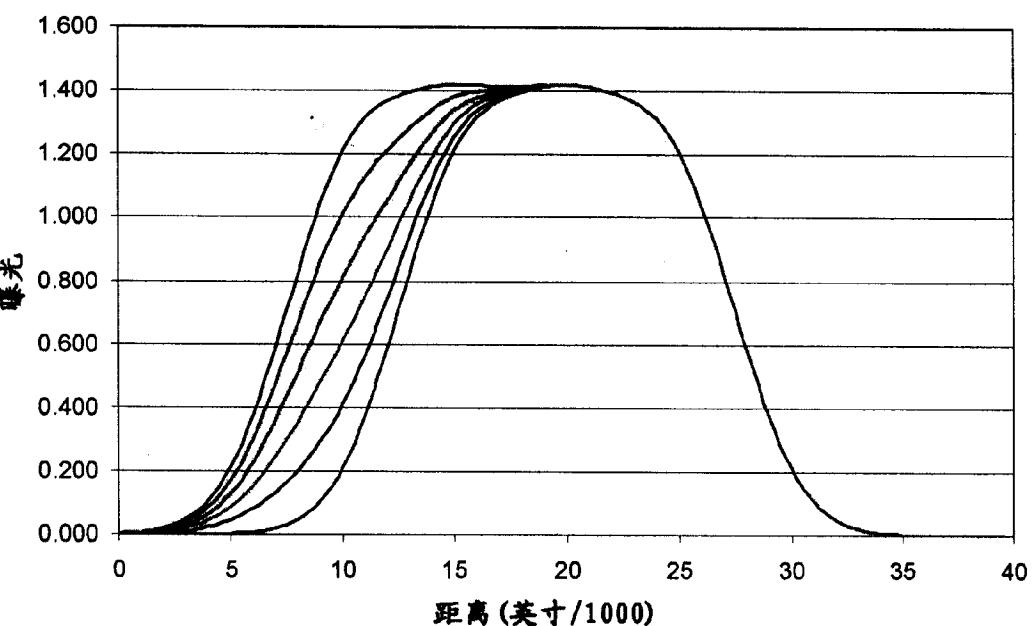


图 5

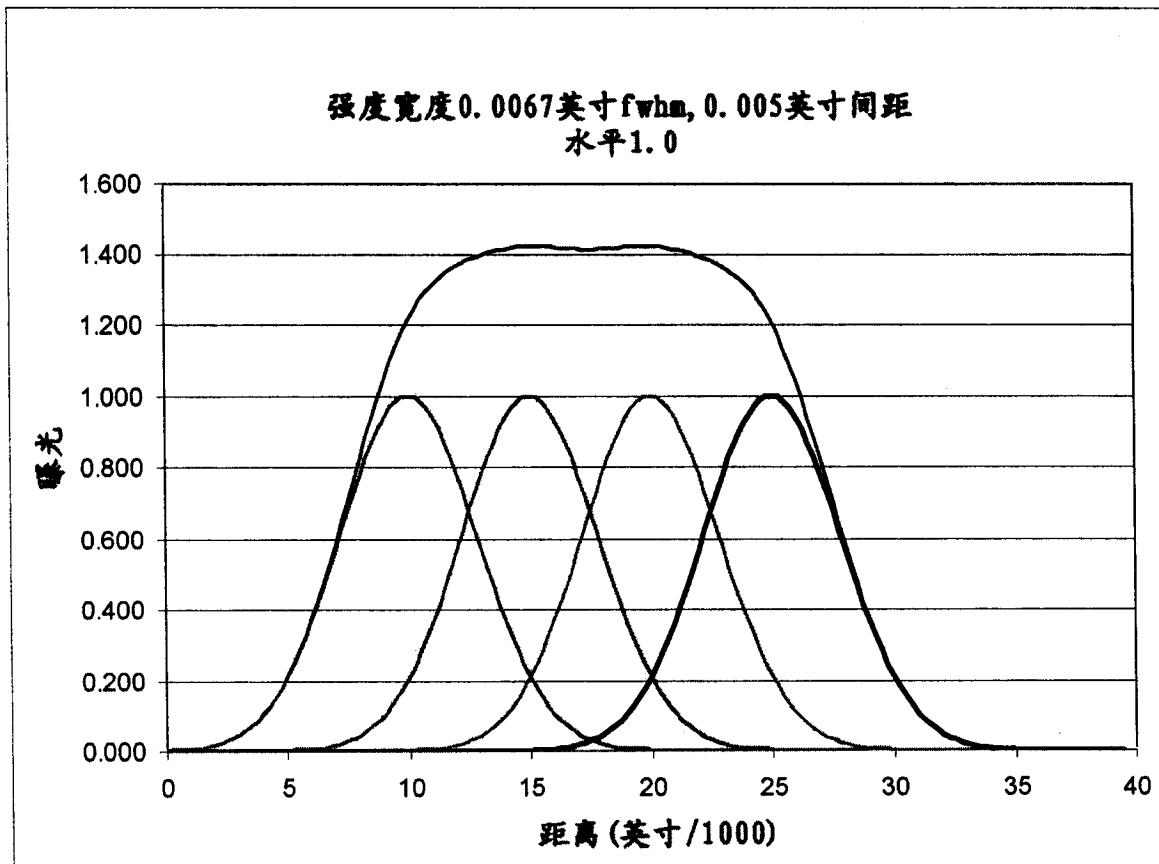


图 6

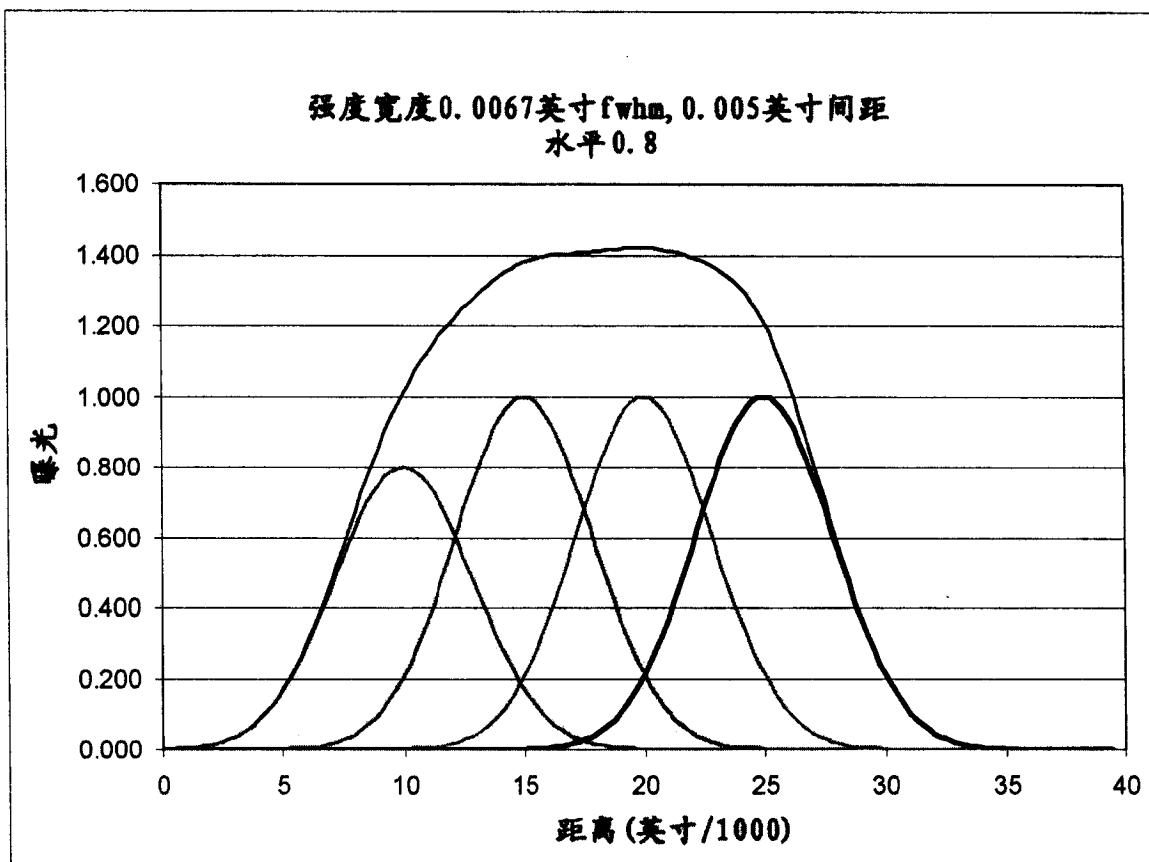


图 7

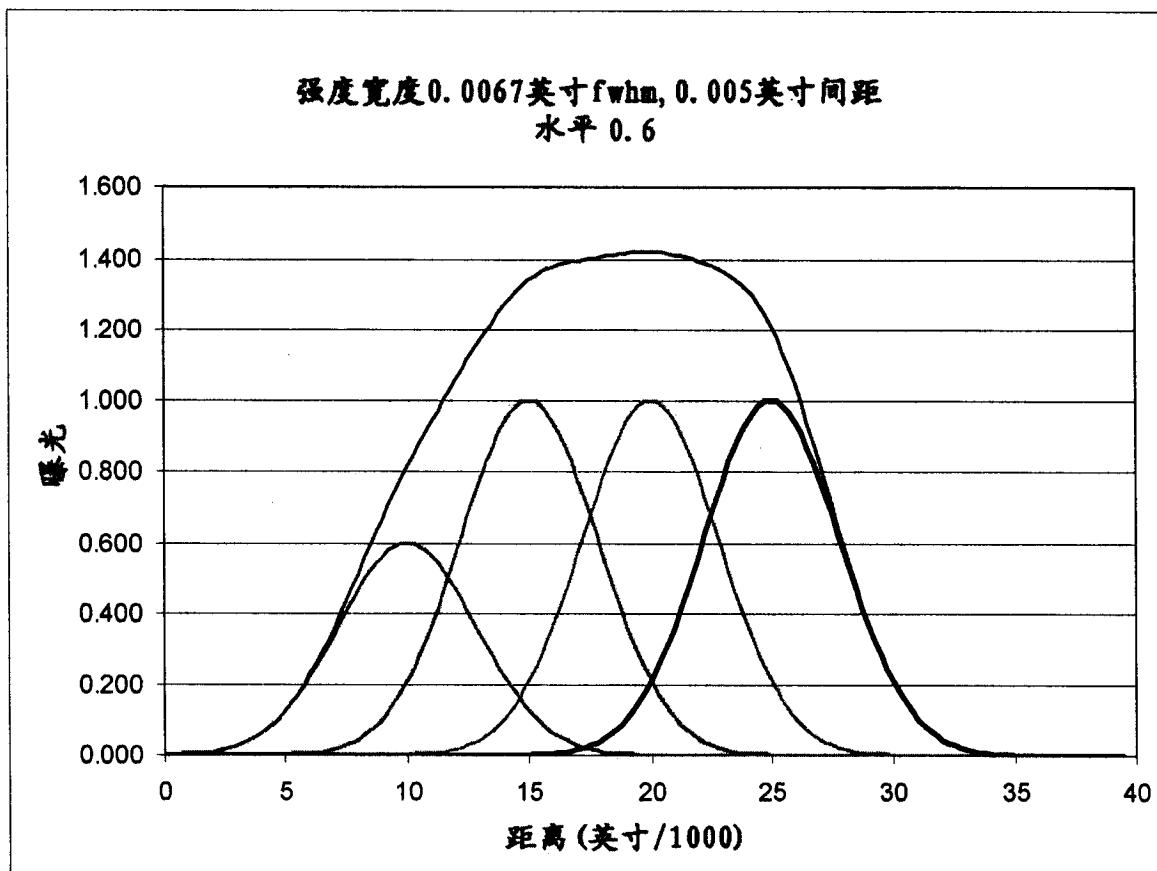


图 8

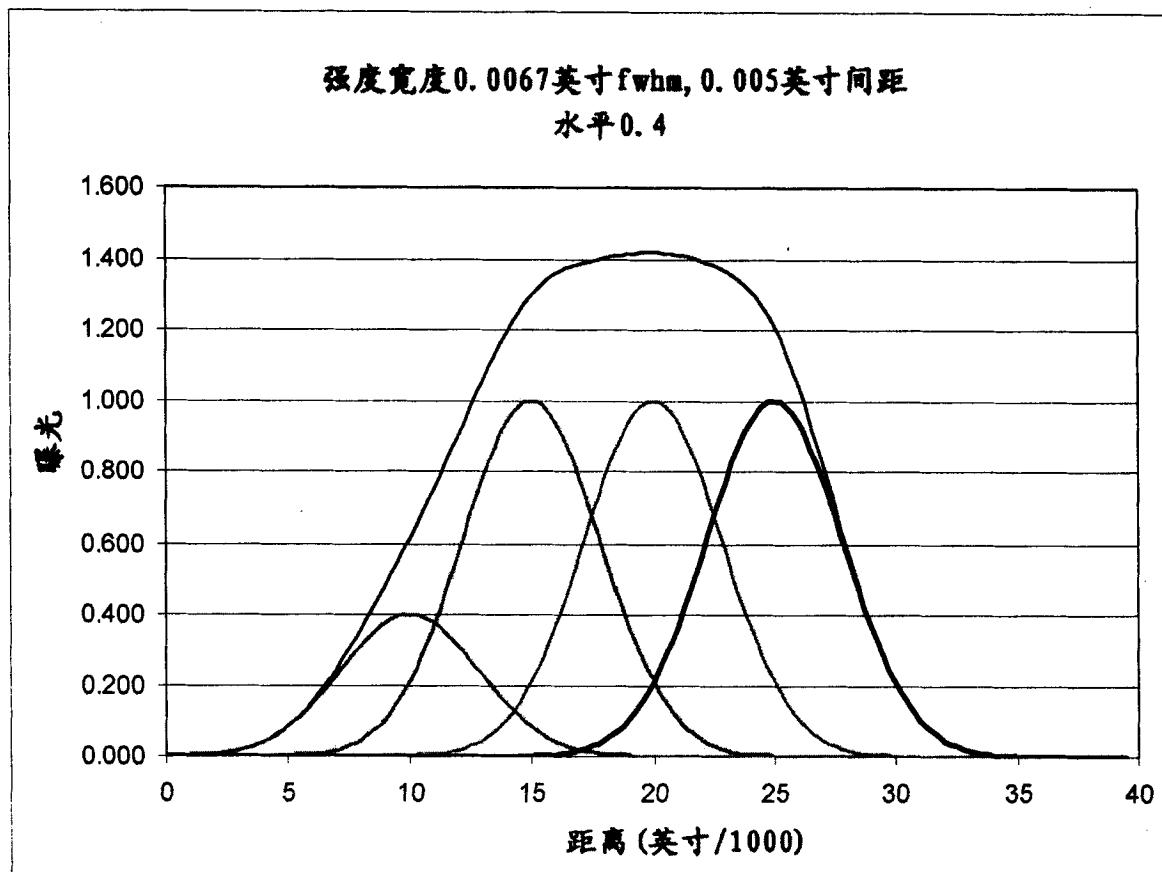


图 9

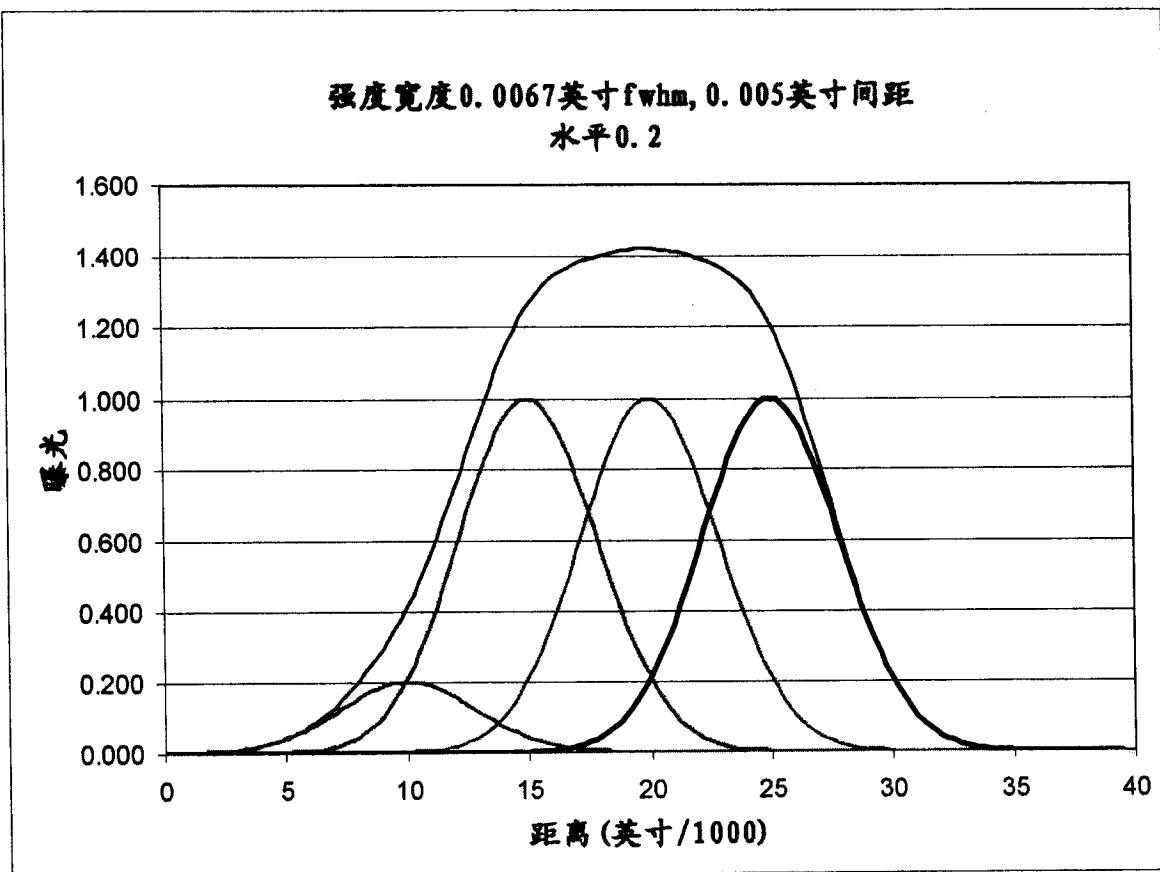


图 10

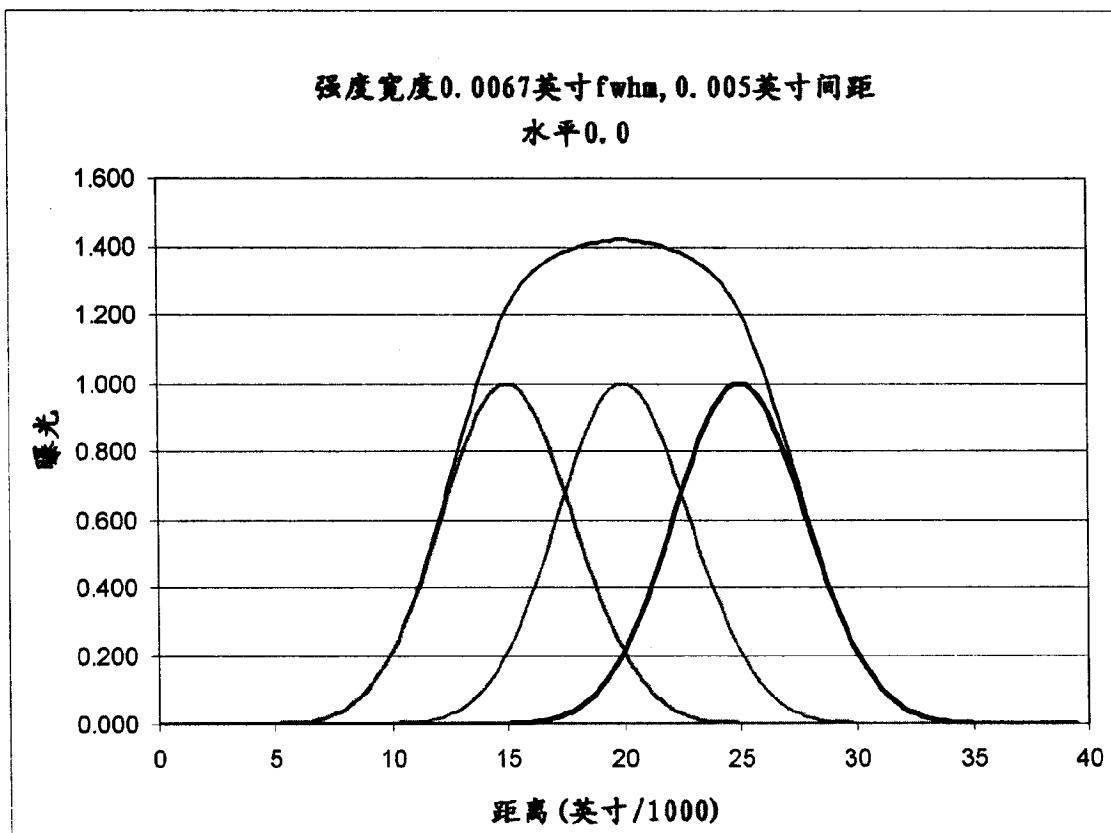


图 11

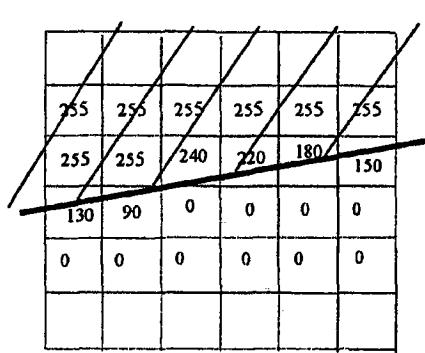


图 12

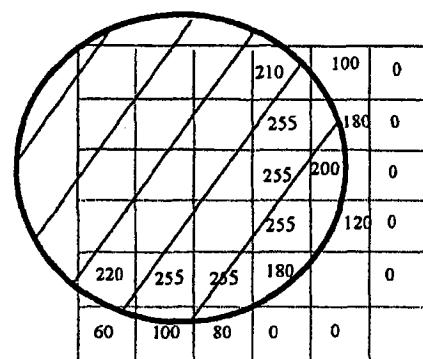


图 13

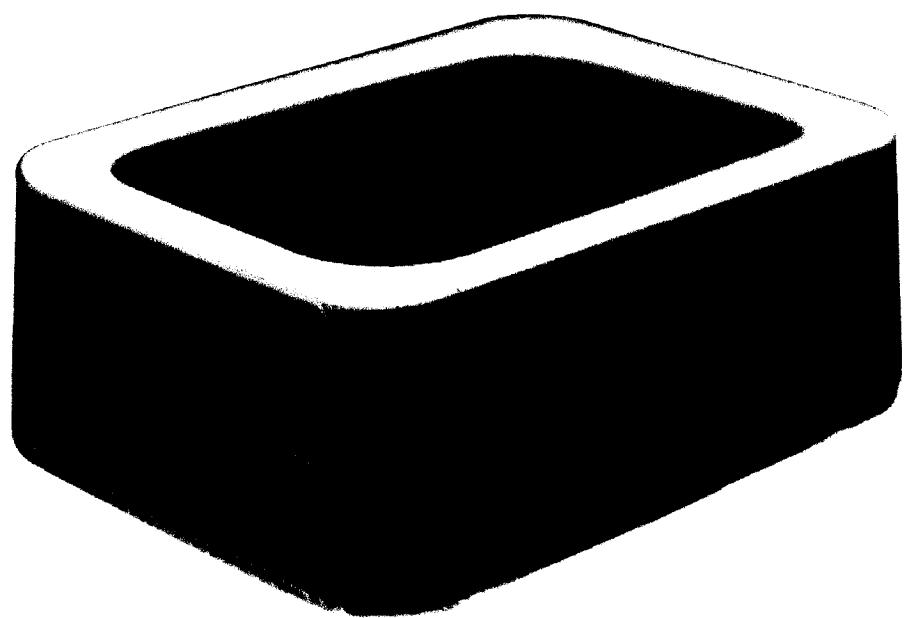


图 14

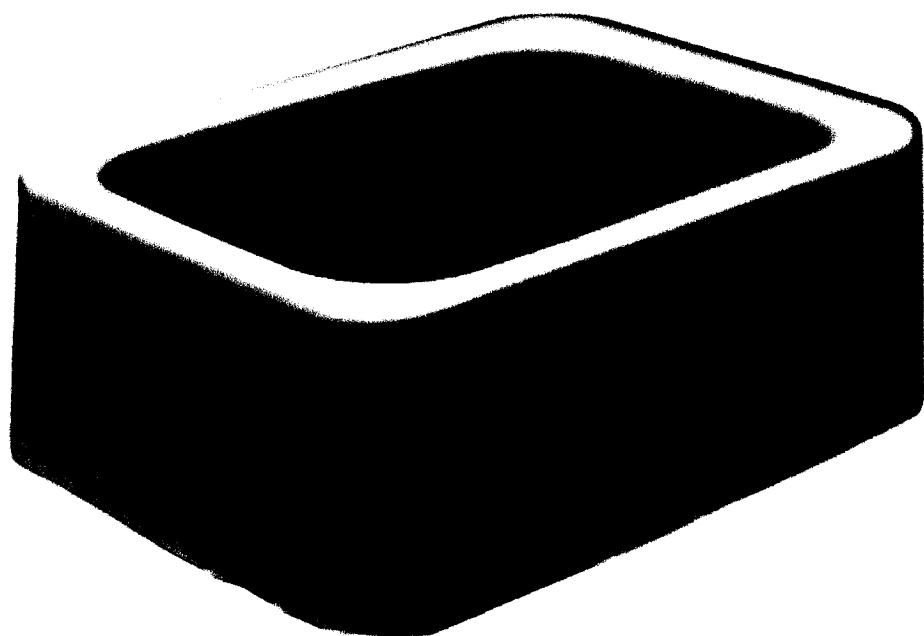


图 15