



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98804806.X

[45] 授权公告日 2004 年 9 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 1167971C

[22] 申请日 1998.4.1 [21] 申请号 98804806.X

[30] 优先权

[32] 1997.4.4 [33] US [31] 08/835,108

[86] 国际申请 PCT/US1998/006441 1998.4.1

[87] 国际公布 WO1998/045858 英 1998.10.15

[85] 进入国家阶段日期 1999.11.4

[71] 专利权人 振义·罗克斯·洪

地址 中国台湾

共同专利权人 洪姮娥 杨鸿昌 杨维邦

[72] 发明人 振义·罗克斯·洪 洪姮娥 杨鸿昌

杨维邦

审查员 韩 伟

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 甘 玲

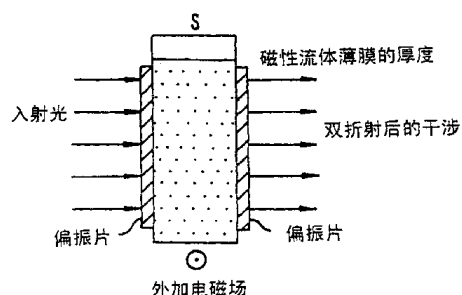
权利要求书 3 页 说明书 27 页 附图 13 页

[54] 发明名称 磁性流体薄膜显示器和单色光开关

[57] 摘要

公开了合成能够在外加磁场下形成有序的一维结构和二维晶格的同质性磁性流体组合物的方法。该组合物的制备采用了一种改进的共沉淀方法，该方法之步骤经调整以减少样品的异质性。 Fe_3O_4 微粒被涂敷了表面活性剂，并分散于连续载液相中，由此形成这种同质性磁性流体组合物。这些组合物能否产生有序结构可通过将一磁铁靠近此组合物的薄膜同时观察薄膜在磁铁附近的范围产生色彩来检验。还公开了控制此组合物形成的有序结构的特性间距的方法。相关的控制参数包括：薄膜厚度、外加磁场的强度和取向、磁场强度的增率、分散于连续相中的磁性微粒的体积分数和薄膜的温度。该同质性磁性流体组合物可被用来制造液晶装置，而这些装置是取此材料的特性间距为在可见光波长左右这一事实的优点。利用有序结构，在可控制及可预测的情况下来衍射、折射和使光波偏

振，由此可构建多种磁光装置，这些装置包括彩色显示器、单色光开关和可调式波长滤波器。



1. 一种磁光装置，包含：

(a) 一种磁性流体组合物的薄膜，其是由被表面活性剂涂敷的、并分散在一连续相液体载液中的磁性微粒所组成的，其中，该流体中的微粒在磁场下形成衍射光线的结晶阵列；

(b) 产生能诱发结晶阵列之形成的磁场的设备；和

(c) 控制结晶阵列的元素之间隔的设备。

2. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该磁性微粒是 Fe_3O_4 、表面活性剂是油酸，且载液是煤油。

3. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该结晶阵列是六边形阵列。

4. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该控制结晶阵列的元素之间隔的设备是用来改变磁场强度的设备。

5. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该控制结晶阵列的元素之间隔的设备是用来改变磁场强度增率的设备。

6. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该控制结晶阵列的元素之间隔的设备是用来改变磁场相对于该薄膜平面取向的设备。

7. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该控制结晶阵列的元素之间隔的设备是用来改变磁性流体温度的设备。

8. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该控制结晶阵列的元素之间隔的设备是用来改变该薄膜厚度的设备。

9. 如权利要求 1 所述的装置，其中，该控制结晶阵列的元素之间隔

的设备是改变磁性流体的体积分数的设备。

10. 如权利要求 1 所述的装置, 进一步包括与该薄膜平面的法线成角度 θ 的入射白色平行光束的光源, 其中, 角度 θ 可被选择以使得透过该薄膜且与该薄膜平面的法线成角度 θ' 的光是单色的, 而且该透射光的颜色可通过改变该结晶阵列的元素间的间距来改变。

11. 一种单色光衍射开关, 包含权利要求 1 所述的装置和一单色光源, 其中, 薄膜的透光率是通过调整结晶阵列元素的间隔来控制的。

12. 一个像素, 包含三个权利要求 11 所述的单色光衍射开关, 其中, 用于第一开关的单色光的颜色为红色、用于第二开关的单色光的颜色为绿色, 而用于第三开关的单色光的颜色为蓝色。

13. 一种光衍射彩色显示器, 包含一个权利要求 12 所述的像素的二维阵列。

14. 一种磁光装置, 包括:

(a) 一种磁性流体组合物的薄膜, 其是由被表面活性剂涂敷的、并分散在一连续相液体载液中的磁性微粒所组成的, 其中, 该流体中的微粒形成折射光线的一维周期性微粒链阵列;

(b) 产生能诱发一维周期性微粒链阵列之形成的磁场的设备;

(c) 控制该一维周期性微粒链阵列的元素间间距的设备; 和

(d) 紧邻该薄膜一侧的第一偏振片和紧邻该薄膜相对侧的第二偏振片, 其中, 该第一和第二偏振片的偏振轴是相互垂直的, 并且, 该磁场按平行于该薄膜的平面取向并与每一个偏振片的偏振轴成 45° , 并且透射光的颜色可以通过改变该一维周期性微粒链阵列的间距加以改变。

15. 一种光双折射彩色显示器, 包括多个权利要求 14 的装置, 其中, 一个多色图像是通过单独控制光透过每一个权利要求 14 的装置来生成的。

16. 一种光衍射颜色显示器, 包含多个权利要求 10 所述的装置, 其中, 多色图像是通过个别控制透过每个权利要求 10 所述的装置的光的颜色来生成的。

17. 一种磁光装置, 包括:

(a) 一种磁性流体组合物的薄膜, 其是由被表面活性剂涂敷的、并分散在一连续相液体载液中的磁性微粒所组成的, 其中, 该流体中的微粒形成衍射光线的一维周期性微粒链阵列;

(b) 产生能诱发一维周期性微粒链阵列之形成的磁场的设备;

(c) 控制该一维周期性微粒链阵列的元素间间距的设备; 和

(d) 与该薄膜平面的法线成角度 θ 的入射白色平行光束的光源, 其中, 角度 θ 被选择以使得透过该薄膜且与该薄膜平面的法线成角度 θ' 的光是单色的, 而且该透射光的颜色可通过改变该一维周期性微粒链阵列的元素间的间距来改变。

18. 一种光衍射颜色显示器, 包含多个权利要求 17 所述的装置, 其中, 多色图像是通过个别控制透过每个权利要求 17 所述的装置的光的颜色来生成的。

磁性流体薄膜显示器和单色光开关

相关的申请资料

这件申请涉及洪振义、洪姮娥同时所提出申请案号为 08/835,107 的“同质性磁性流体薄膜中的有序结构及其制备方法”。

技术领域

这件发明包含同质性(homogeneous)且能形成有序晶体(crystalline)结构的磁性流体的生产方法。该发明同时也包含在外加磁场影响之下，这类流体的薄膜产生有序结构的方法、控制这些薄膜里这些结构的方法，和利用这些有序结构所产生有关磁光(magnetic-optical)的装置。这些装置包含彩色显示器，单色光开关，与可调波长的滤波器。

背景技术

铁磁流体(ferrofluids)是一种磁性流体，它典型地由通过表面活性剂分散于连续的载液相中的胶状磁性微粒，诸如：磁铁矿或锰锌铁氧体所组成。这分散的磁性微粒的平均直径的范围在约 5 到 10nm 的范围内。每个微粒有一个与它的尺寸成比例的恒定的磁偶极矩，此磁矩可与外部磁场方向对齐。

铁磁流体在均匀的磁场下受体积力(body force)的作用，使得其位置可被操控，因此可制造出诸如转动封件(rotary seals)、轴承(bearings)和相关的机械装置。铁磁流体同时也可被用来制造显示的装置，诸如

在美国专利 3,648,269 和 3,972,595 所揭示的；这些专利是利用磁场以一个预定的光学图样捕获不透明的磁性流体。这些装置的类型通常是经由不透明的磁性流体替代透明的流体以产生光学上的对比。然而，此类的显示装置，在其磁性流体中并不产生有序的晶体结构，而且除了黑白的影像外无法产生任何其它影像。

目前，生产铁磁流体有两种较通用的方法。第一种方法是在液体载液和亦作为分散剂的研磨助剂的存在下，经由球磨研磨(ball-mill grinding)把磁性粉末弄碎到胶状微粒的尺寸，同时此液体亦做为分散剂。这方式例证于美国专利 3,215,572 和 3,917,538 中。第二种方法是如美国专利 4,019,994 所例证的化学沉淀技术。这两种技术均苦于所生产的磁性微粒在尺寸分配上、微粒组成成份上及微粒间相互作用力上具异质性(heterogeneity)之不利情况。而这些异质性可能对于铁磁流体在磁场影响之下形成有序结构的能力产生有害的影响。

在外加磁场的影响下，形成磁性流体薄膜系统的图样最近已吸引了广泛的兴趣。这些研究使用各种不同类型的磁性流体，譬如，M. Fermigier 与 A.P. Gast, *J. Colloidal Interface Sci.* 154, 522 (1992)和 D. Wirtz 与 M. Fermigier, *Phys. Rev. Lett.* 72, 2294 (1994)研究载有铁氧化物颗粒胶乳液(latex)或者聚苯乙烯微粒的悬浮液中，于平行磁场的影响下，其磁性微粒的聚集过程和其一维的结构图样。已报道了在垂直磁场的影响之下，相态分离的磁性流体薄膜形成准二维周期性的晶格，Wang 等, *Phys. Rev. Lett.* 72, 1929 (1994)。然而，此篇论文的图 1 显示出其为不规则的结构。其他研究者已经在磁性乳胶漆

(magnetic fluid emulsions)的薄膜或者在混有非磁性球的磁性流体的薄膜中，利用垂直磁场的影响产生较高度有序的二维晶格，然而，这些晶格倾向于凝结，因此不适合用于需要在结晶和无定形状态间快速变换的任何应用，参考，如，Liu 等，*Phys. Rev. Lett.* 74，2828 (1995)，和 Skjeltorp，*Phys. Rev. Lett.* 51，2306 (1983)。因此，在本领域中对一类铁磁流体组合物有公知的需求，这种铁磁流体组合物能用来生产液晶装置，这种装置能被小的磁场接通或关断，请参考，如，da Silva 和 Neto，*Phys. Rev. E.* 48，4483 (1993)。

假如能制成一种其薄膜能在外加磁场的影响之下可逆地形成有序一维结构或二维的晶格的铁磁流体组合物，那将对于制造各种不同的、新的且有用的液晶磁光装置是很有用的。由于这些理由，需要一种能生产同质性铁磁流体组合物的方法，而使得在外加磁场的影响之下，此铁磁流体所制之薄膜具有能够可逆地形成有序的一维结构或二维的晶格的能力。更进一步需要的是，一个能用来确定此铁磁流体组合物的薄膜在外加磁场的影响之下，是否能够产生高度有序的一维结构或二维的晶格的简单的方法。最后，利用此铁磁流体组合物的薄膜在外加磁场的影响之下所产生有序的结构来制作磁光装置是必需的。而彰显这个装置的功效，有赖于所开发出的控制铁磁流体的磁性薄膜在外加磁场影响下形成有序结构的方法，因此控制这些所形成的有序结构的方法也是需要的。

发明内容

本发明是涉及产生一种同质性的铁磁流体组合物的方法，而此铁磁流体组合物在该流体的薄膜受到外加磁场作用时能够形成有序的结构，同时本发明还涉及根据此方法所合成的组合物。这种方法是基于一种经优化的化学沉淀技术。本发明同时也提供如何使这些铁磁流体组合物的薄膜响应外加磁场产生有序的一维结构或二维的晶格的方法，以及判断均质性磁场形成有序结构的能力的方法。本发明还涉及暴露在外加磁场下此同质性铁磁流体组合物的薄膜所形成之有序阵列。同时本发明也提供控制这些一维结构或二维晶格的特征间距的方法，而此是经由变化参数来控制的，诸如：外加磁场强度、磁场相对于薄膜的取向、磁场强度的增率、薄膜的厚度、铁磁流体组合物中磁性粒子的浓度或者该组合物的温度。

本发明涉及一种磁光装置，包含：

(a) 一种磁性流体组合物的薄膜，其是由被表面活性剂涂敷的、并分散在一连续相液体载液中的磁性微粒所组成的，其中，该流体中的微粒在磁场下形成衍射光线的结晶阵列；

(b) 产生能诱发结晶阵列之形成的磁场的设备；和

(c) 控制结晶阵列的元素之间隔的设备。

本发明还涉及一种磁光装置，包括：

(a) 一种磁性流体组合物的薄膜，其是由被表面活性剂涂敷的、并分散在一连续相液体载液中的磁性微粒所组成的，其中，该流体中的微粒形成折射光线的一维周期性微粒链阵列；

(b) 产生能诱发一维周期性微粒链阵列之形成的磁场的设备；

(c) 控制该一维周期性微粒链阵列的元素间间距的设备；和

(d) 紧邻该薄膜一侧的第一偏振片和紧邻该薄膜相对侧的第二偏振

片，其中，该第一和第二偏振片的偏振轴是相互垂直的，并且，该磁场按平行于该薄膜的平面取向并与每一个偏振片的偏振轴成 45° ，并且透射光的颜色可以通过改变该一维周期性微粒链阵列的间距加以改变。

本发明进一步涉及一种磁光装置，包括：

(a) 一种磁性流体组合物的薄膜，其是由被表面活性剂涂敷的、并分散在一连续相液体载液中的磁性微粒所组成的，其中，该流体中的微粒形成衍射光线的一维周期性微粒链阵列；

(b) 产生能诱发一维周期性微粒链阵列之形成的磁场的设备；

(c) 控制该一维周期性微粒链阵列的元素间间距的设备；和

(d) 与该薄膜平面的法线成角度 θ 的入射白色平行光束的光源，其中，角度 θ 被选择以使得透过该薄膜且与该薄膜平面的法线成角度 θ' 的光是单色的，而且该透射光的颜色可通过改变该一维周期性微粒链阵列的元素间的间距来改变。

更进一步地，本发明提供基于这些铁磁流体的薄膜所产生之有序结构和控制这些结构之间距的能力的液晶磁光装置。这些装置包括：一种光衍射的彩色显示装置、一种可接通或者关闭的单色光衍射开关、一种可调式的光衍射波长滤波器、一种结合了第一类型光衍射彩色显示器和单色光衍射开关技术的第二类型光衍射彩色显示装置以及一种包含本发明的磁性流体薄膜和偏振片的光双折射彩色显示装置。

这发明的这些和其他的特色、方面和优点将可由以下的描述、附加的权利要求与附图得到更充分的了解。

附图说明

本专利文件至少包括一张彩色图，在提出请求和支付必要的费用

后，本专利的副本包含彩色图将由专利和商标局所提供。

图 1 为制备同质性铁磁流体之步骤的流程图，当该流体的薄膜受外加磁场的作用时，该铁磁流体能够形成有序的一维结构或二维晶格。

图 2 显示一套用来测量在外加磁场之下铁磁流体薄膜性质的设备。

图 3 显示同质性铁磁流体薄膜在外加的且垂直于该薄膜平面的磁场下所形成之二维的六角形晶格的阵列，微粒圆柱体则占据在同质性铁磁流体中形成的这些晶格的顶点。

图 4 显示不同厚度的薄膜在一个垂直磁场(100 Oe)下所形成之二维的六角形阵列。

图 5 显示在二维的六角形阵列中微粒圆柱体间的距离与磁场强度和薄膜厚度的关系。

图 6 显示在二维的六角形阵列中微粒圆柱体间的距离与磁场强度和磁场强度增率的关系。

图 7 显示在二维的六角形阵列中微粒圆柱体间的距离与磁场强度和铁磁流体的磁性微粒与液体载液组分之间体积分数的关系。

图 8 显示同质性铁磁流体薄膜中所形成之周期性的微粒链间距与在一个外加的且平行于薄膜平面的磁场的磁场强度的关系。

图 9 显示在暴露于一个外加的且平行的磁场的同质性铁磁流体薄膜中所形成之周期性的微粒链间距与薄膜厚度的函数关系。

图 10 显示一套用来示范由在同质性铁磁流体薄膜中的有序结构所产生的光衍射和双折射现象的设备。

图 11 显示经由一磁光装置所产生的颜色光谱，其中同质性铁磁流体薄膜的厚度变化大约从 2 到 10 微米 μm ， $H = 150 \text{ Oe}$ ， $dH/dt = 500 \text{ Oe/s}$ 。

图 12 显示当外加磁场强度改变时经由一包含同质性铁磁流体薄膜的磁光装置所产生不同颜色。

图 13 说明用于第一种类型的光衍射彩色显示元件的同质性铁磁流体薄膜的剖面图。

图 14 说明一个单独的像素的设计：包括一个同质性铁磁流体薄膜、一种产生磁场的装置和控制磁场强度的装置。

图 15 说明一种用于双折射彩色显示元件的同质性铁磁流体薄膜的剖面图。

具体实施方式

这种通过在 NaOH 的存在下共沉淀 FeSO_4 和 FeCl_3 合成磁铁矿 (Fe_3O_4) 的化学合成基于 W. C. Elmore 于 1938 年所提出的反应。这种共沉淀的反应被用来生产铁磁流体(ferrofluids)(也可称为“磁性流体”(magnetic fluids)); 其中磁铁矿微粒被表面活性剂所涂敷并且被分散于一个连续的相中(即, 微粒被分散于液体而非乳液中), 请参考文献, 如, Fertman, V. E., "Magnetic Fluids Guide Book: Properties and Application(磁性流体指南: 性能和应用), " Hemisphere Publishing Corporation, 1989, ISBN-0-89116-956-3 第 14 页。虽然, 此一材料被证实在建构多样的机械装置和显示装置是非常有用的, 然其薄膜却并不容易形成有序的结构。此有序结构是能与电磁辐射, 如可见光, 交互反应而产生如衍射或偏振等物理现象的有规则、有周期性的物体阵列。这些结构可以是二维(如, x 和 y)或者是一维(如, x)有序。前者的结构有时候也被称为晶格、结晶阵列(crystalline array)或二维晶体(2-dimensional crystals)。经由小心地调整共沉淀反应和随后的涂敷和分

散步骤的参数，我们已经合成了改善的铁磁流体组合物，而此铁磁流体组合物能够在其薄膜中、在外加磁场的影响之下可逆地形成有序的结构。

然不局限于任何特殊的理论，在微粒尺寸分配的同质性和/或微粒间相互作用力的同质性之改善，似乎是这些铁磁流体组合物能够形成有序结构的原因。而本发明之铁磁流体组合物中相互作用力的同质性的改善可能是反应出其受 Fe_2O_3 和/或水的污染的降低。

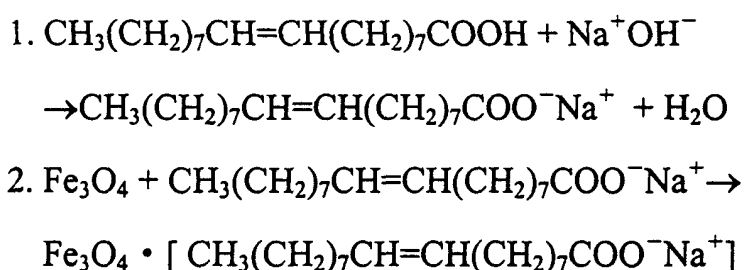
根据本发明的方法，一种包含均匀分散于连续载液中的极细的磁性微粒的组合物，通过被利用小心调整控制参数的化学共沉淀所产生。这种磁性微粒是 Fe_3O_4 (磁铁矿)，是由 FeSO_4 和 FeCl_3 的混合物与诸如 NaOH 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等强碱所产生化学反应的结果。这种微粒再被涂敷一层表面活性剂来防止其聚集，然后再被完全地分散于一连续的液体载液里而形成一种同质性的磁性流体。根据本发明，图 1 为用来制备同质性的磁性流体步骤的流程图。

本发明所使用的一般程序牵涉到制备 FeSO_4 和 FeCl_3 的水溶液，该水溶液的温度被保持在 80°C 而且在迅速地加入足量的包含氢氧化物的碱性溶液，如 NaOH 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的同时连续搅拌，以控制溶液的 pH 大约在 11 到 11.5 之间。由开始加入碱到达到最终目标的 pH 不得超过两分钟是非常重要的。 Fe_3O_4 的共沉淀大约需要 20 分钟的时间。本化学反应式如下：

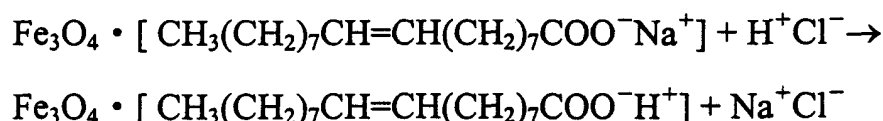


大约 20 分钟后，表面活性剂如油酸被加到 Fe_3O_4 已析出的溶液中，该步骤是用来涂敷 Fe_3O_4 的颗粒的。假如所加的表面活性剂为油酸，一

开始其 pH 下降的很快, 此时需加入额外份量的碱溶液, 以在涂敷步骤中将 pH 保持在一个优选的范围内, 其值大约在 9.5 到 10 之间。于该涂敷过程中, 反应温度保持在 80℃。此步骤大约需 30 分钟。在此步骤结束后, 反应后的混合物分成三相。在进入下一步骤之前, 除掉最上层, 并保持中间和最下层留待下一步骤使用。在该涂敷过程中, 当使用的表面活性剂为油酸且使用的碱为 NaOH 时, 其化学反应式如下:



在涂敷步骤完成后(约 30 分钟), 则进行酸化步骤, 对羧基进行质子化, 藉此以一个质子来取代 Na^+ 抗衡离子。该步骤可由在搅拌的同时向反应混合物中加入足量的酸, 如 HCl, 是混合物的 pH 降至从约 0 到约 1 的范围内来达到的。该步骤在室温(从大约 20℃C 到大约 25℃)下进行。该混合物被搅拌约 20 分钟。此时, 涂敷了表面活性剂的磁性微粒开始凝结。在大约 20 分钟时, 混合相分开为二层。将上层移去, 上述的酸化步骤可能需额外重复二或三次。而在每个酸化步骤结束时, 上层须被移去然后再重复这一步骤。当最上层不再含有深色微粒时, 方能执行下一个步骤。在这个取代的步骤中如以 HCl 为酸时, 其化学反应式如下:



下一个步骤是倾析。于此步骤中, 加入去离子水以便从已涂敷表面活性剂的 Fe_3O_4 产品中除去残留的抗衡离子, 诸如, HCl 和 NaCl。在 65

℃下向已涂敷的 Fe_3O_4 加入足量的去离子水，使此悬浮体的 pH 达到大约 4.7 到 5.0 之间。在加入水的同时搅拌该悬浮体。在加入足量的去离子水后，停止搅拌，使悬浮体静置。然后将水从已沉淀的 Fe_3O_4 中倾析出去，产品被洗涤。

洗涤则经由加入一做为载液的液体(如煤油)到已沉淀的 Fe_3O_4 来进行，其比例为每克经涂敷的 Fe_3O_4 约 1.1 毫升的煤油。搅拌此二组分，直到固态的 Fe_3O_4 完全地溶解到载液里。此悬浮液然后放置在离心试管里，在室温下做短暂、低速的离心。我们发现，如以煤油为载液，则于相当于大约 500 x g 的相对离心力进行 10 分钟离心即相当有效。当样本从离心机取出后，它已经分成二相，上层为含有剩余盐与大颗粒的深色液体，而下层则为涂敷了表面活性剂的磁性微粒的固体。移去上层，将已涂敷的磁性微粒尽可能地完全脱水。

我们发现，合适的脱水可以通过将这些微粒悬浮于丙酮中、经 1800 x g 离心 30 分钟将其压成片、除去丙酮、再置于 65℃ 的炉中将微粒干燥 8 到 12 小时来达到。这些微粒被脱水后，它们再被分散于载液中，然后将此流体在离心机里做短暂、低速的离心。这次离心将较大的或者聚集的颗粒压成片。离心后，在离心管中沉淀物上的液体即为本发明的同质性磁性流体。再者，可将此液体放置于 65℃ 的炉中 8 到 12 小时挥发掉部份载液，可增加在该液体中磁性微粒的浓度。

除了以上叙述的煤油与油酸的组合外，其它组载液与表面活性剂的组合亦可以用来产生本发明的可在其薄膜中形成有序结构的组合物。表 1 举出其代表性的组合。于该表中，任何在一栏列出的那些载液可以和同一行的栏中所列出的任何表面活性剂共同使用。

表 1 用来产生同质性 Fe_3O_4 的磁性流体的载液 / 表面活性剂组合	
载液	表面活性剂
1. 煤油 2. 环己烷(C_6H_{12}) 3. 正辛烷(C_8H_{18}) 4. 正十二烷($\text{C}_{12}\text{H}_{26}$) 5. 正十四烷($\text{C}_{14}\text{H}_{30}$) 6. 正十六烷($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) 7. 正十八烷($\text{C}_{18}\text{H}_{38}$) 8. 正二十烷($\text{C}_{20}\text{H}_{42}$)	1. 油酸 2. 亚油酸 3. 橄榄油: ~9% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$, ~2% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$, ~80% 油酸 ~10% $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ $\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$) 的混合物 4. $[\text{R}(\text{COO})]_2\text{Zn}$ (其中 $\text{R} = \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n$, 并且 $4 \leq n \leq 5$) 5. 芥酸
全氟二十烷($\text{C}_{20}\text{F}_{42}$)	1. 油酸 2. 氟化聚醚酸 $(\text{CF}_3\text{CF}_2[\text{CF}_2\text{OCF}(\text{CF}_3)]_5\text{COOH})$
气油(C_{12} 及 C_{12} 以上的烃)	1. 油酸 2. 橄榄油 3. $[\text{R}(\text{COO})]_2\text{Zn}$ (其中 $\text{R} = \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n$, 并且 $4 \leq n \leq 5$)
氟化煤油 (perfluoro kerosene)	1. 氟化多醚酸 2. 油酸 3. 橄榄油
2-甲氧基乙基醚	$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$ (其中 R 或 $\text{R}' = \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n$, 且 $4 \leq n \leq 5$) 的混合物, 并且 R 不必等于 R'

同质性磁性流体的特征

根据以上所描述的程序，制作出一种同质性的磁性流体。其样本的 X 光衍射的图案能用来证实如所期待的 Fe_3O_4 样本的单一相态 fcc 尖晶石结构。该 X 光衍射数据可用来和从经由粉末衍射标准联合委员会(Joint Committee on Powder Diffraction Standards, JCPDS)编译的国际衍射数据中心(International Center for Diffraction Data)中的标准作比较。该样本的磁化则使用震动样本磁化仪来量测，诸如，EG&G Princeton Applied Research 的 VSM 控制机 4500 型。这些样本的微粒尺寸可通过拟合 Langevin 函数， $L(\alpha) = M/M_s = (\coth \alpha - 1/\alpha)$ ，其中 $\alpha = M_s V H / kT$ 、 M 是外加磁场强度 H 下样本的磁化强度、 M_s 是样本的饱和磁化强度、 V 是微粒的体积，由其磁化强度、应用的磁场数据 (M - H 数据) 而求得。因为温度、 M 、 M_s 、 k 和 H 是已知的，故 V 能被解得以求出微粒的半径。这个 Langevin 函数假设：(1)均匀的颗粒尺寸；和(2)独立的颗粒行为。对磁性流体而言，其颗粒尺寸为一个正态分布所描述，而且颗粒间因其产生磁矩而产生相互作用。因此，经验的 M - H 曲线愈接近计算的 Langevin 函数，Langevin 函数的假设则愈符合。假如拿一个磁铁接近按本发明制备的同质性磁性流体的薄膜，可观察到一有浅色的光出现在薄膜上且随磁铁移动而移动，此是由于响应于该磁场的影响而产生的有序结构所引起的光学效果。如此色彩在从 Ferrofluidics Corp. (Nashua, New Hampshire) 所获得的 EMG 909，一种商业上可获得的煤油基 Fe_3O_4 铁磁流体中，是无法观察到的。

同质性磁性流体薄膜中的有序结构

根据上述方法所合成之磁性流体，可被封入不同池厚度的玻璃池中，以形成流体薄膜。本发明的薄膜优选的厚度在约为 1 微米到约 20 微米的范围内，而更优选的厚度则从约 2 微米到约 6 微米(1 微米= 10^{-6} 米)。于本发明的一个实施方案中，平行和垂直于薄膜平面的磁场分别由亥姆霍兹线圈和一个均匀的螺线管所产生。而假如需要其它的选择，螺线管可被亥姆霍兹线圈所替代以提供平行磁场。该亥姆霍兹线圈和螺线管所产生的磁场强度与供给这些装置的电流相关，并可由高斯计量测到该磁场；所得到的磁场是均匀的，而且在薄膜范围内磁场强度的偏差少于 1%。为确定外加磁场所产生的同质性磁性流体薄膜中有序结构的特性，我们利用 Zeiss 光学显微镜来拍摄薄膜的图像，且薄膜中图像形成对时间的演进经由一 CCD 摄像机传输到个人计算机记录下来。

图 2 阐释一个用来量测在外加磁场下同质性磁性流体薄膜之特性的设备。为了可自动地获得图像数据，用来产生磁场的电源供应器是经由计算机编程控制的，而程序控制数据撷取的计算机程序是这样编写的，使得磁场强度与磁场强度的增率可以被调整。如果需要，可在撷取数据前，程序设定一个延迟时间，以便磁场强度变化后，可确保图样已达到准稳定的状态。

当根据本发明的方法所制备之同质性磁性流体薄膜，受到一垂直磁场(也即，磁场方向垂直于薄膜平面)时，初始将生成无序的量子圆柱体(quantum columns)。假如增加磁场强度使之超过临界值 H_h ，会形

成一个平衡的二维六角形的结构，而微粒圆柱体(particle columns)则占据晶格的顶点。假如磁场强度增加到另外一个临界值 H_l ，此结构型式将由六角形的结构变成迷宫的型式。图 3 举例说明在 $6\mu\text{m}$ 薄膜所产生的现象。介于磁场强度 H_h 和 H_l 的范围内，微粒圆柱体间的距离几乎是和磁场强度的倒数成正比；此微粒圆柱体间的距离是在几个微米的数量级(图 5)。相反地，在垂直磁场影响之下，商业上可提供的磁性流体只产生无序的量子圆柱体。

其它影响微粒圆柱体间的距离的参数包括：薄膜厚度 L (图 4 和图 5)、磁场强度的增率 dH/dt (图 6)、在流体中磁性微粒的浓度(体积分数)和温度 T 。圆柱体间的距离直接地与磁性流体薄膜的厚度成比例(图 5)。对于相同的最终磁场强度，增加磁场强度的增率(dH/dt)倾向于减少圆柱体间的距离。这或许是，由于边界效应的影响。在一圆柱体间的距离 d (纵座标)对磁场强度 H (横座标)的函数曲线图中，一条以较高磁场强度增率所产生的曲线将处于以较低磁场强度增率所产生曲线之下和左方。体积分数可经由以额外的载液稀释磁性流体来调整。当薄膜厚度和磁场强度的增率维持不变时，减少体积分数倾向增加圆柱体间的距离。因此，在不同体积分数时的距离对磁场强度的函数图中显示，当体积分数降低时，这 d - H 曲线移向上和右方。在全部其他参数保持不变下，增加温度 T 使得微粒的磁化强度降低，因而造成圆柱体间的距离增加的结果。

假如本发明的同质性磁性流体薄膜受到一平行磁场的作用，薄膜中磁性微粒凝聚而形成平行于磁场的方向的微粒链。当磁场强度增加

时，因为它们间的相互作用，这些微粒链倾向聚集和形成粗而长的链。一维准周期性的结构已在本发明的同质性磁性流体的薄膜中被观察到。这些链存在于横跨整个薄膜厚度的不同层次上。微粒链间的距离与磁场强度的倒数成比例(图 8)，而和薄膜厚度成正比(图 9)。

利用同质性磁性流体薄膜的磁光装置

本发明同时也针对当电磁波通过正暴露于外加磁场下的本发明同质性磁性流体薄膜中的可控制的有序结构，或被其反射时所产生的光学现象。为显示这些现象，图 10 所描绘的设备是用来建构和测试磁光装置的。其中所使用的薄膜的面积为 $1\text{cm} \times 4\text{cm}$ 。并分别地用亥姆霍兹线圈和一个均匀的螺线管来产生平行和垂直的均匀磁场。所得的磁场是均匀的，在薄膜周围，所量测得到的磁场强度的偏差小于 1%。采用一白色光源(Intralux 500-1 240 瓦特的卤素灯，美国 VOLPI Manufacturing, Inc.制造，灯大约开在最大功率的 25%)。所产生的光束通过一望远镜而变得几乎平行。两个光学透镜用来使此近平行光束平行，再以一放置于两个光学透镜间的光圈来控制光束的大小。而此一平行的白光经过一个置于薄膜下的反射镜反射。此反射镜相对于光束的角度可经由转动镜平面来调整，结果使得光到薄膜的入射角改变。而数据撷取，则利用一连接到个人计算机的 CCD 摄相机获取通过薄膜的影像。另外，有时亦以传统的底片照相机来代替获得薄膜的图像。

图 11 是将一滴同质性磁性流体暴露在外加的垂直磁场下的照片。

该滴的厚度因表面张力的关系而改变，由于外加磁场下所形成的有序阵列间之距离随着薄膜的厚度而改变，所以当一平行的白光放置在薄膜下时，在薄膜上方可以看见彩色的光谱。图中刻度的尺寸相当于2mm。

图 12 为同质性磁性流体薄膜的一系列相片影像，用来阐明经由一外加垂直磁场影响的薄膜所产生光的衍射。图中刻度的尺寸相当于2mm。于这一些影像中，除了供应给用来产生磁场之螺线管的电流外，其他所有的参数均保持不变。当磁场强度改变时，薄膜颜色从红色一直改变到紫色。这一系列的影像，显示出通过薄膜的光的颜色是可以被控制的，而且可由薄膜得到一片面积约在几个平方厘米的单一颜色的光。

根据本发明的方法，可构建一包含很多像素(pixel)的显示装置，每一个像素包含一个个别用来控制薄膜磁场强度或温度的电路，经适当地调整每一个像素的电流，多种彩色的影像就会显现出来。

实施例 1

同质性磁性流体组合物的制备

首先将 160gNaOH (95%纯度, Nihon Shiyaku Industries, Ltd.)加入足够量的去离子水使之最终的体积为 500 毫升的 8 摩尔的 NaOH 溶液 500ml。第二种溶液则是在足量的去离子水中混入 0.1 摩尔的 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (98%纯度, Showa Chemicals, Inc.)和 0.2 摩尔的 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (97%纯度, Showa Chemicals, Inc.)使得最终体积为 600

毫升。以一根玻璃搅拌棒连续地搅拌第二种溶液，同时将足够量的 NaOH 加入以提高 pH 并使之保持在 11 到 11.5 之间，此时 Fe_3O_4 从溶液中析出。NaOH 溶液的添加大约在两分钟内完成。在此反应的步骤中，温度保持在 80°C ，此沉淀步骤历经约 20 分钟。

再以 50 毫升的油酸(Showa Chemicals, Inc.)加入到含有 Fe_3O_4 的上述溶液中，以便以油酸来涂敷微粒。一开始，pH 下降的很多，需加入额外的 NaOH 溶液，以保持在整个涂敷步骤中的 pH 在 10 左右。在此反应的步骤中，温度保持在 80°C ，且大约需时 30 分钟。在此步骤完成时，溶液会分成三相。可移去最上层，中间和最下面一层则保留给下一步骤使用。

足量体积的 HCl (37.52%纯度, Polin)加到余留的溶液中，使其 pH 下降到 1 左右。此步骤在室温下进行。于此步骤，需持续搅拌约 20 分钟，此时涂敷油酸的磁性微粒开始凝结。在大约 20 分钟结束时，此溶液会分开为二相。将含有黑色粒子悬浮的上层移去，并重复上述的整个酸化步骤。同样地，再一次将上层移去。在第二次酸化步骤后，溶液上层不再观察到黑色粒子悬浮。但在有些合成中，此步骤可能需再被重复执行一到二次，直到最上层不再含有黑色粒子悬浮，而每次步骤重复前，则须移去上层。

在酸化步骤完成后， 65°C 的去离子水加入保留的下层溶液，以便用来清除残留的 HCl 和 NaCl。一面加水一面搅拌，加入足量的水，使得溶液的 pH 到大约为 5 左右。让溶液中固态物质沉淀，再将水倾析倒掉。

固态物质再以每克加入 1.1 毫升的煤油来清洗，一直搅拌直至固态物质完全分散在煤油中，再将此溶液倒入离心管里，以大约 $500 \times g$ 离心 10 分钟。此步骤的离心与其它步骤的离心均在室温下进行。离心后，此样本分成两层。上层为一包含残留的盐类和大粒子的深色液体，下层为含有已涂敷油酸磁性微粒的固相物质。除掉上层，通过将此固态物质以丙酮分散，再以约 $1800 \times g$ 离心 30 分钟进行沉淀，倒掉丙酮，以及将磁性微粒置放在 65°C 的炉中烘干 8 到 12 小时进行脱水。最后，将这些干燥的微粒以煤油一对一微粒为 2ml/g 分散在煤油中。此溶液再以大约 $500 \times g$ 离心 10 分钟。将悬浮体由离心管里倒出放入在 65°C 的炉中烘干大约 10 小时，以便将部份的煤油蒸发来提高 Fe_3O_4 的浓度。此液体由炉中取出，并用于形成薄膜中的有序结构。将此一同质性磁流体等分部分密封于玻璃池中以形成磁性流体薄膜。

该 Fe_3O_4 样本的 X 光衍射的图样证实为单一相态 fcc 尖晶石结构。量测到的晶格常数为 8.4 埃。样本的磁化强度则使用震动样本磁化仪来测量，所量测到此同质性磁性流体的饱和磁化强度为 10.58 emu/g 。其体积分数可由此磁性流体的饱和磁化强度和干 Fe_3O_4 粉末的饱和磁化强度之比值计算得到，其比例为 18.9%。

实施例 2

作为外加磁场强度之函数的二维有序结构

图 2 所显示的设备，是用来检验依实施例 1 所合成同质性磁性流体的薄膜中，在一个垂直于薄膜平面的外加磁场的影响下，在薄膜中

所产生结构图样。在此实施例中，外加磁场的强度是被改变的。图 3 显示以 CCD 摄像机所摄取使用 6 微米厚磁性流体薄膜时的影像，用来显示二维有序结构的形成过程：由无序的量子圆柱体(图 3A)、到有序的六角形结构(图 3B 和图 3C)和再到无序迷宫的型态(图 3D)。这些影像显示出圆柱体间的距离，在两个临界强度(H_h 和 H_l)之间，大约和磁场强度成反比。

实施例 3

作为薄膜厚度之函数的二维有序结构

在此实施例中，检验薄膜厚度对有序结构的图样形成的影响。利用图 2 所显示的设备，来探讨不同薄膜厚度下同质性磁性流体薄膜的二维之有序结构。在此实验中，除了薄膜厚度外，其他的参数均保持不变，而薄膜厚度的变化则利用不同深度的玻璃凹槽来达成，其厚度从 10 微米改变到 2 微米。图 4 提供以 CCD 摄相机所摄取的、依实施例 1 所合成的同质性磁性流体之薄膜的影像，采用的是 100 Oe 的恒定磁场强度，其中在所探讨的薄膜中形成二维六边形结构。这些影像显示，圆柱体间的距离在所探讨的薄膜厚度的范围内大约和薄膜厚度成正比。

实施例 2 和实施例 3 的结果显示，在外加的垂直磁场下，二维六角形结构会在同质性磁性流体的薄膜中形成。微粒圆柱体间的距离和磁场强度的倒数有紧密的关系，而至少在实施例 3 所探讨的厚度范围内大约和薄膜厚度成正比。图 5 描绘出微粒圆柱体间的距离为薄膜厚

度和磁场强度的函数关系。

实施例 4

作为磁场强度改变率之函数的二维有序结构

磁场强度增率的影响于本实施例中加以探讨，使用之磁场强度增率为 5 Oe/s、50 Oe/s、100 Oe/s 和 400 Oe/s。图 6 是微粒圆柱体间的距离在不同磁场强度增率(dH/dt)下，和磁场强度的关系。此图显示，当增率增加时，曲线往图的左下方移动；也就是说，磁场强度改变率增加时，微粒圆柱体间的距离减少。

实施例 5

作为体积分数之函数的二维有序结构

除了制造过程中最后的分散步骤外，磁性微粒与其载液间不同体积分数的磁性流体样本可依实施例 1 的方法所合成；而在分散步骤中，可用所加入煤油体积的多寡来改变磁性流体的体积分数。图 7 显示减少体积分数使得距离相对于磁场强度的曲线图往右上方移动，也就是说，在所有其他参数保持不变下，当体积分数减少时，微粒圆柱体间的距离会增加。

在以后的两个实施例中，将以亥姆霍兹线圈取代图 2 所显示的设备中的均匀螺线管，以便外加到薄膜的磁场由垂直于变成平行于薄膜的平面。

实施例 6

作为外加磁场强度之函数的一维有序结构

在此实施例中，同质性磁性流体所制做薄膜受到一个其方向平行于薄膜平面的外加磁场的作用。当加上磁场时，在薄膜中的磁性微粒开始聚集、在薄膜平面沿磁场方向形成磁性微粒链，这些磁性微粒链存在于薄膜厚度间的不同层次。当磁场强度增加时，磁性微粒链变成具有周期性，而且磁性微粒链间的距离成比例地降低。图 8 显示，在同质性磁性流体的薄膜中，将磁场强度从 100 Oe 改变到 400 Oe 对周期性磁性微粒链间距离的影响。

实施例 7

作为薄膜厚度之函数的一维有序结构

在此实施例中，探讨薄膜厚度对响应于平行磁场的一维周期性结构的影响。同质性磁性流体封入不同深度的玻璃池中，以便探讨薄膜厚度的影响。图 9 显示在所探讨的薄膜厚度的范围内(10 μm 到 2 μm)而且其他参数均保持不变的情况下，磁性微粒链间距离和薄膜厚度成正比。

实施例 8

第一种类型的光衍射彩色显示器

当外加垂直磁场达到临界值 H_h 时，二维微粒圆柱体阵列在同质性磁性流体薄膜里形成。当一平行的白色光束通过该薄膜时，产生衍射现象；当光束达到观察者的眼睛时，产生构成性的(constructive)与破坏性的(deconstructive)干涉。图 13 是用来解释光衍射概念的同质性

磁性流体薄膜中所形成的阵列的剖面图。在图中， d 是在二维圆柱体阵列中圆柱体间的距离、 θ 为入射光束和薄膜法线所夹的角度、 θ' 则为衍射光束和该法线的夹角，设 N 为所有用来衍射入射光束的微粒圆柱体的数目，经过衍射后，光的强度 I 为

$$I \propto \frac{\sin^2[N\varphi/2]}{\sin^2[\varphi/2]}$$

其中， $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d(\sin\theta + \sin\theta')$ ，和 λ 是光的波长。光强度 I 变成最大时的条件与光经过薄膜衍射后最亮的条件相同。这个条件为

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{\lambda} d(\sin\theta + \sin\theta') = \kappa\pi$$

其中， κ 为非负值的整数。

角度 θ 可被设计使得 $\sin\theta \gg \sin\theta'$ 。因此对于一个固定的角度 θ ，当观察者远离薄膜时，他所观察到的颜色将不会因有限的移动而改变。同时， $\kappa = 0$ 的情况将不会发生。 $\kappa = 1$ 的情况是最有趣而且是最重要的。在此条件下， d 和 λ 的关系为

$$d \sin\theta = \lambda$$

如果这一个波长 λ 是在可见光的范围，则相同的 d 将只允许其他波长为 λ/κ 的光通过薄膜，其中 $\kappa = 2, 3, \dots$ 。幸运地，这些波长的光是在可见光的频谱之外。而其理由为，人类眼睛可观察到最长波长的光大约为 $0.7 \mu\text{m}$ ，因此 $\lambda/2 = 0.35 \mu\text{m}$ 。这一波长的电磁波在频谱中为紫外线的范围，因此无法被人类的眼睛观察到。其结果，观察者将只看到单一波长的光。

当然，光的强度 I 一定会散射，其散射的程度 $\delta\lambda$ 必须满足 $\frac{\delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{N}$ 的条件。在同质性磁性流体薄膜里的二维微粒圆柱体阵列的情况下， N 值非常的大而且与薄膜面积有关，因此， $\frac{\delta\lambda}{\lambda}$ 非常的小。如果微粒圆柱体间的距离 d 满足 $d = \frac{\lambda}{\sin \theta}$ ，将可观察到一很纯的单色光。幸运的是，根据本发明的方法所制成的同质性磁性流体的二维微粒圆柱体阵列，其微粒圆柱体间的距离正是在几微米之间，因此微粒圆柱体阵列有能力对可见光造成衍射来产生强度的干涉。更进一步地，因为距离 d 可被操控，譬如，控制外加磁场的强度、磁场强度的增率(dH/dt)、磁场方向与薄膜的夹角、同质性磁性流体薄膜的厚度和/或其温度，观察者所看到光的颜色可随心所欲地来改变。

根据本发明的方法，所构建的显示器将包含许多像素(pixels)。每一个像素可由一片同质性磁性流体的薄膜配一电路所组成，该电路是用来驱动在个别像素中微粒圆柱体间距离的改变，而造成出射光颜色的改变。图 14 是一个像素的概念图。在显示器中，当像素里微粒圆柱体间的距离 d 被个别地调整，显示器将产生一个多种颜色的影像。

根据由 Bragg 所提出之衍射原理，同质性磁性流体的薄膜，在外加水平磁场的影响之下，亦可发生衍射的现象。当对薄膜施加磁场时，磁性微粒开始聚集，形成平行于薄膜平面的微粒链。而微粒链间的距离，可以由改变磁场强度来控制。当一入射的白色光束与薄膜平面形成一夹角时，微粒链将光束折射。因这些微粒链位于薄膜里的不同层次，被不同层次微粒链所折射的光将产生干涉，结果产生非常鲜艳的色彩。这里再次地可以调整外加的磁场来得到所要的色彩。

实施例 9

单色光衍射开关

如实施例 8 所提供的, 同质性磁性流体的薄膜可用来从白色光产生波长为 λ 的单一颜色的光。在如同实施例八中所描述情况下(也就是 $\sin\theta \gg \sin\theta'$), 衍射只有在当同质性磁性流体薄膜里二维微粒圆柱体阵列的微粒圆柱体间之距离满足 $d \sin\theta = \lambda$ 的条件时才会发生。亦即, 在外加磁场的特定强度下, 一种单色光才会被薄膜所衍射, 而通过它达到观察者的眼睛。经由调整外加垂直磁场的强度, 即可关闭或者打开光开关。如果以一有颜色的染料涂覆在薄膜上, 把光开关打开, 所需要的颜色就可出现。

实施例 10

光衍射的可调式波长滤波器

此实施例同样利用实施例 8 所发展的概念。同质性磁性流体薄膜中所形成六角形结构的微粒圆柱体间之距离可被调整, 且大约为几微米。如同实施例 8 所提, 可经由调整微粒圆柱体间之距离 d , 来选取波长在微粒圆柱体间距离大小的电磁波。除了薄膜面积可能大很多外, 其同质性磁性流体薄膜和它的电路类似于实施例八所示的那些。

实施例 11

第二种类型的光衍射彩色显示器

第二种类型的光衍射彩色显示器的想法是利用在实施例八和实施

例九所使用技术的结合。此显示器由大量的像素所组成，每一个像素包括三个彼此紧邻在一起的单色光衍射开关。每一个开关由同质性磁性流体薄膜和用来控制微粒圆柱体间之距离 d 的电路所组成的。这三个光开关的光源分别为红、绿和蓝，而且这三个光开关只被设定个别地允许红、绿和蓝的光地通过。

经由适当的调整控制回路的电流，单色光衍射开关可以被打开或者是关闭，因此可以完全不允许或者是允许这三种颜色之一通过光开关。因而显示器的每一像素将可显示任一的黑、红、绿、蓝或者是这后三种颜色的任意结合。当含有像素的光开关的电流被个别地加以调整，显示器将显现出一彩色 RGB(红、绿、蓝)的图像。

实施例 12

光双折射彩色显示器

本实施例是一种使用在外加磁场平行于薄膜平面下，同质性磁性流体薄膜的应用。在外加磁场下，磁性微粒聚集且在薄膜平面形成微粒链，这一些微粒链存在于薄膜厚度的不同层次。此时薄膜里的磁性流体，因微粒链的方向性排列，变成各向异性的介质。

沿著微粒链排列方向的光折射系数 $n_{||}$ 将和垂直于微粒链排列方向的光折射系数 $n_{\perp}$ 不同，因此在磁性流体薄膜里行进一距离 s (此处 s 是薄膜的厚度)，光波其电场在平行于微粒链排列方向的偏振平面，将和光波其电场在垂直于微粒链排列方向的偏振平面不同。以 $E_{||}$ 和 $E_{\perp}$ 来表示这些电场强度，可表示成

$$E_{||} \propto e^{i\omega[t - \frac{n_{||}s}{c}]}$$

和

$$E_{\perp} \propto e^{i\omega[t - \frac{n_{\perp}s}{c}]}$$

这里, $i = \sqrt{-1}$ 、 ω 是电磁波的频率、 t 是时间而 c 是光速。这些电磁波因不同的 $n_{||}$ 和 $n_{\perp}$ 值, 将会相互干涉。此实施例为利用调整外加磁场的强度以改变 $n_{||}$ 和 $n_{\perp}$ 的差值, 来控制两光波相互干涉的应用。图 15 举例说明本发明这个实施例的具体表现。

在图 15 中, 两片极轴(polar axes)相互垂直的偏振片(polarizers)覆盖在同质性磁性流体薄膜的两面。选择外加磁场使其方向与两片偏振片的极轴成 45° 夹角。当光打到偏振片时, 只有与偏振片极轴平行的光能够通过。因为这两片偏振片相互垂直, 故通过第一片偏振片的光无法通过第二片偏振片。但是, 当二片偏振片间有一各向异性的介质时, 入射光的电场将被旋转, 因此有部分的光将能够通过第二片偏振片。

在此实施例中, 外加一平行于薄膜的磁场, 而在薄膜里的磁性流体变成各向异性的。因为 $n_{||}$ 和 $n_{\perp}$ 所产生差值的结果, 当光通过薄膜时, 光偏振平面将被旋转。因此, 部分的光将能够通过第二片偏振片达到观察者的眼睛。实际上, 通过二片偏振片和同质性磁性流体薄膜的光的强度和 $\sin^2 \frac{\pi s}{\lambda} (n_{||} - n_{\perp})$ 成正比, 最大强度的条件为 $\frac{\pi s}{\lambda} (n_{||} - n_{\perp}) = \frac{\pi}{2} (2\kappa+1)$, 其中, κ 为一不为负的整数。在此状况下, 薄膜的厚度 s 不会因改变外加磁场而改变。可是, $(n_{||} - n_{\perp})$ 的值可经由改变例如外加磁场强度来改变。因此可经由例如改变外加磁场的强度来获得所需

要波长的光。此实施例的像素和产生磁场的电路与实施例八相类似；唯一的不同处，在本实施例中，磁场为平行于同质性磁性流体薄膜平面。

上面的例子只被用来提供举例说明这项发明，但并不局限这项发明所涵括的范围。其他有关这项发明的变化，对于一个具平常技巧的专业而言，是容易且明显的，将在以后附加的权利要求中含括。而在此引用的全部出版物，注册专利和注册专利申请，将纳入参考资料。

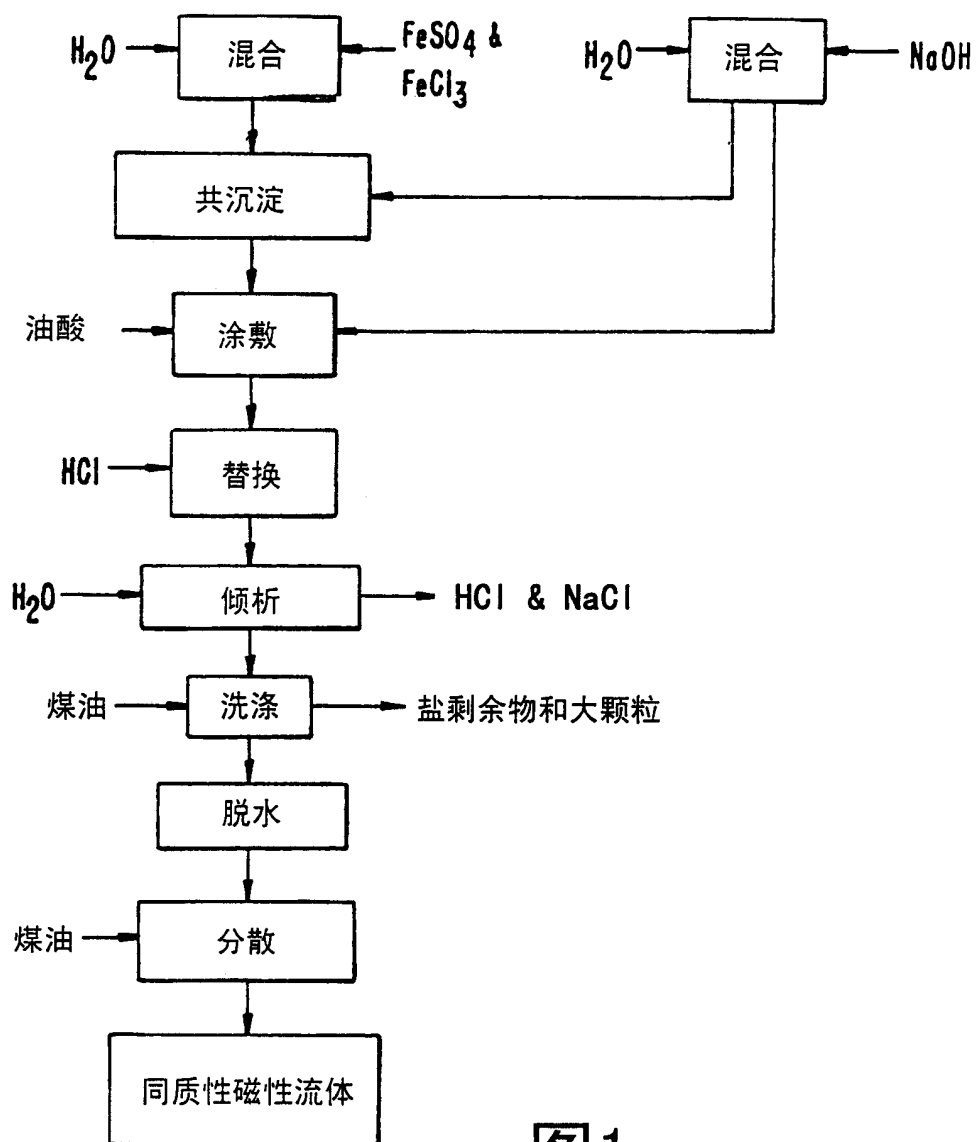
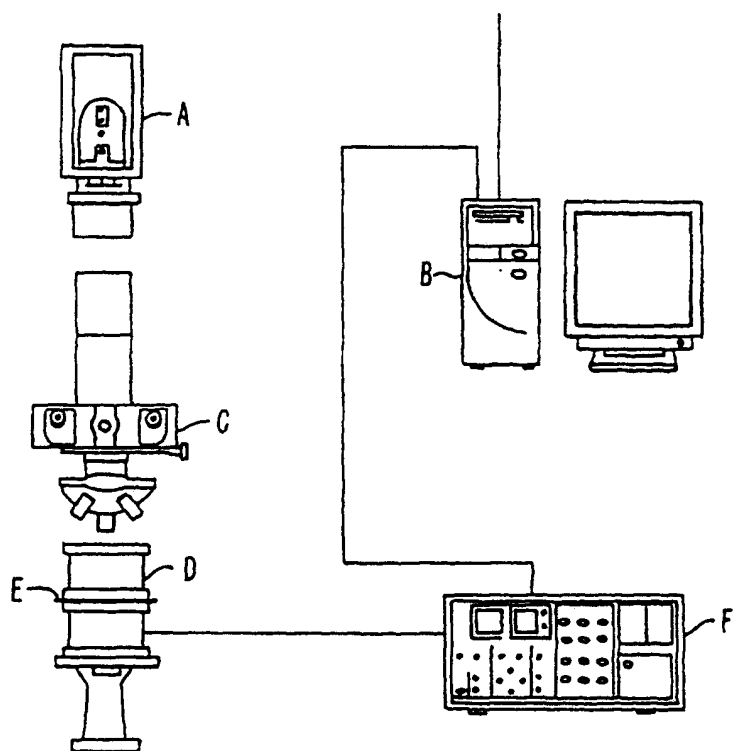
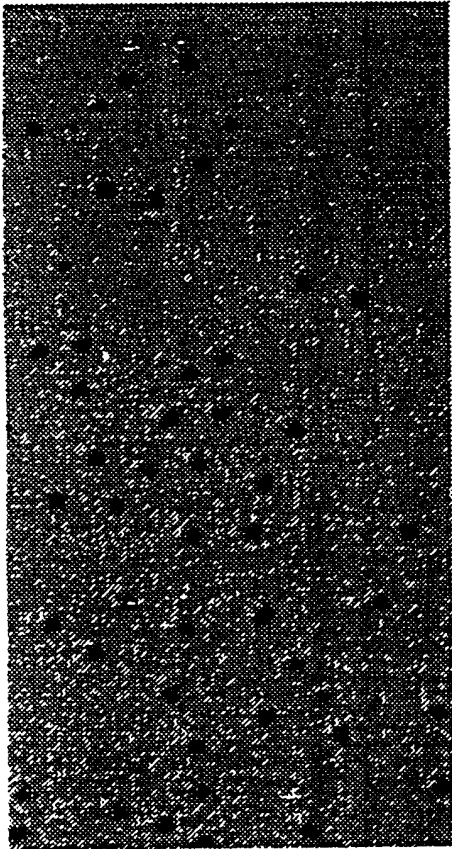


图1



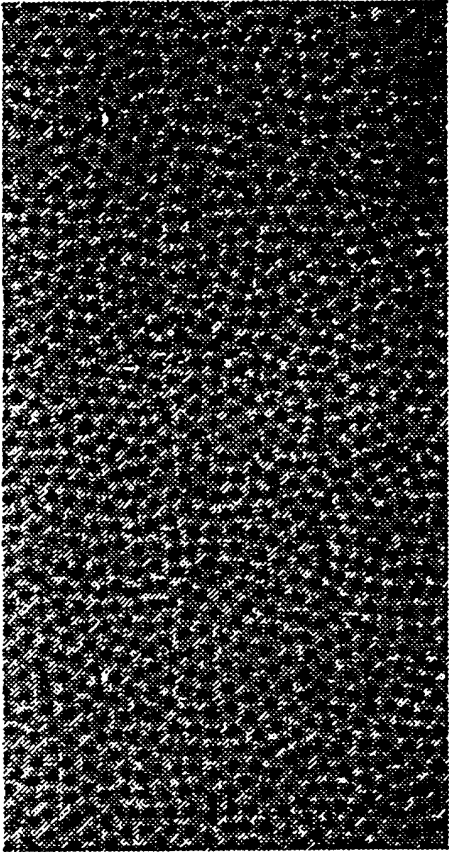
- A: CCD摄像机
B: 个人计算机
C: 显微镜
D: 螺线管
E: 磁性流体薄膜
F: 电源

图2



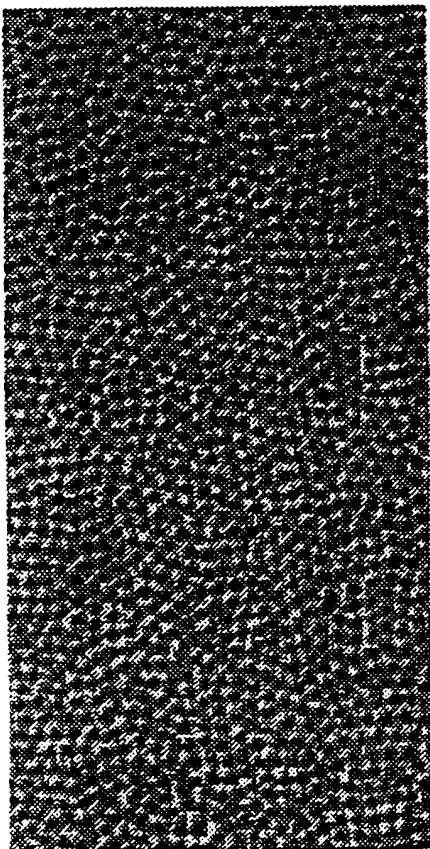
H=70 Oe, L=6 μ m, Ms=10.58 emu/g, dH/dt=20 Oe/s

图 3A



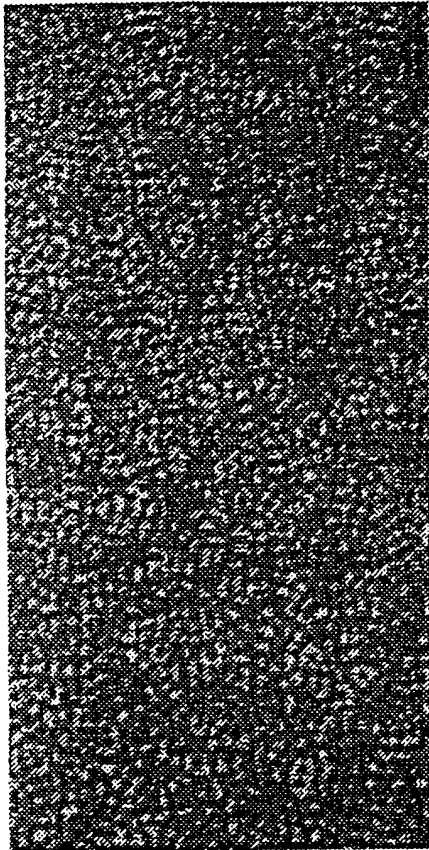
H=100 Oe, L=6 μ m, Ms=10.58 emu/g, dH/dt=20 Oe/s

图 3B



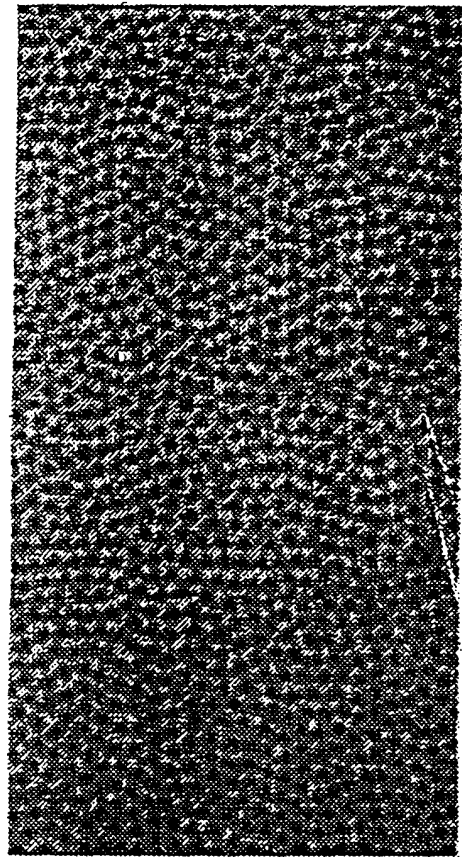
H=300 Oe, L=6 μ m, Ms=10.58 emu/g, dH/dt=20 Oe/s

图 3C



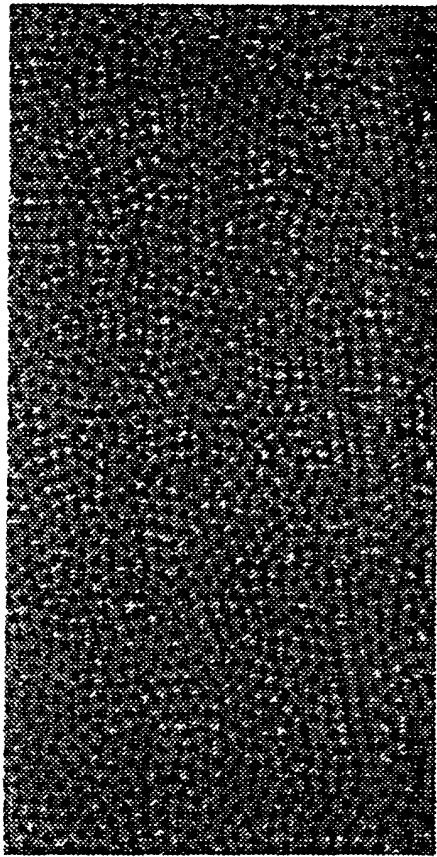
H=400 Oe, L=6 μ m, Ms=10.58 emu/g, dH/dt=20 Oe/s

图 3D



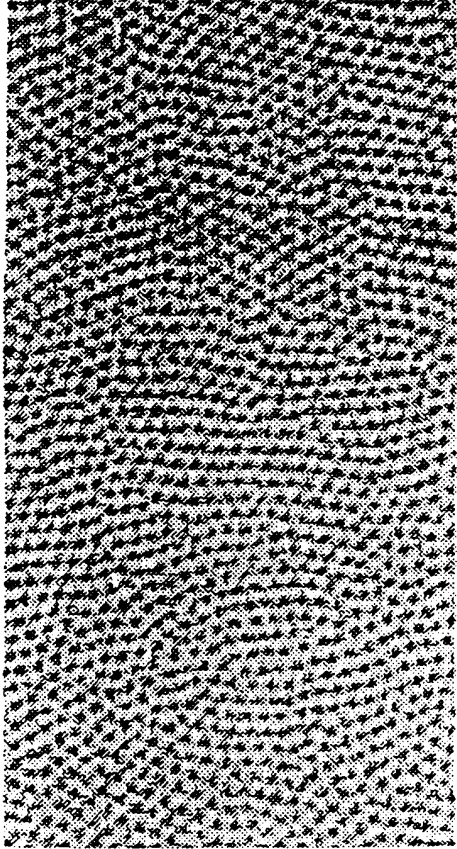
L = 10 μm , H = 100 Oe, Ms = 10.58 emu/g, dH/dt = 20 Oe/s

图 4A



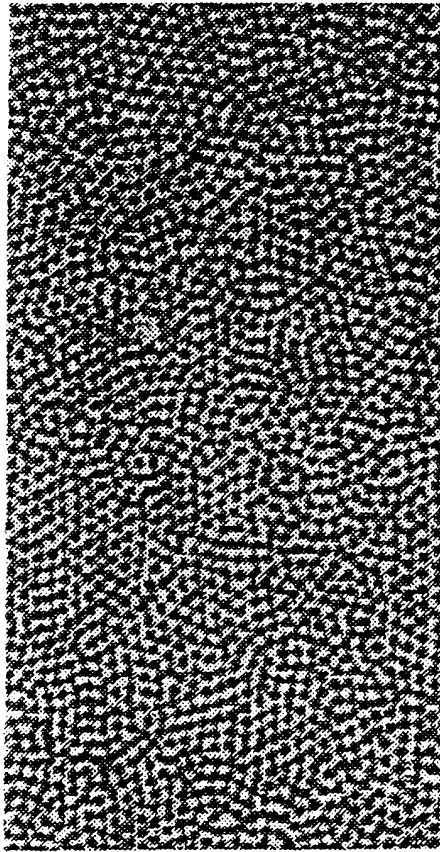
L = 6 μm , H = 100 Oe, Ms = 10.58 emu/g, dH/dt = 20 Oe/s

图 4B



L = 2 μm , H = 100 Oe, Ms = 10.58 emu/g, dH/dt = 20 Oe/s

图 4C



L = 4 μm , H = 100 Oe, Ms = 10.58 emu/g, dH/dt = 20 Oe/s

图 4D

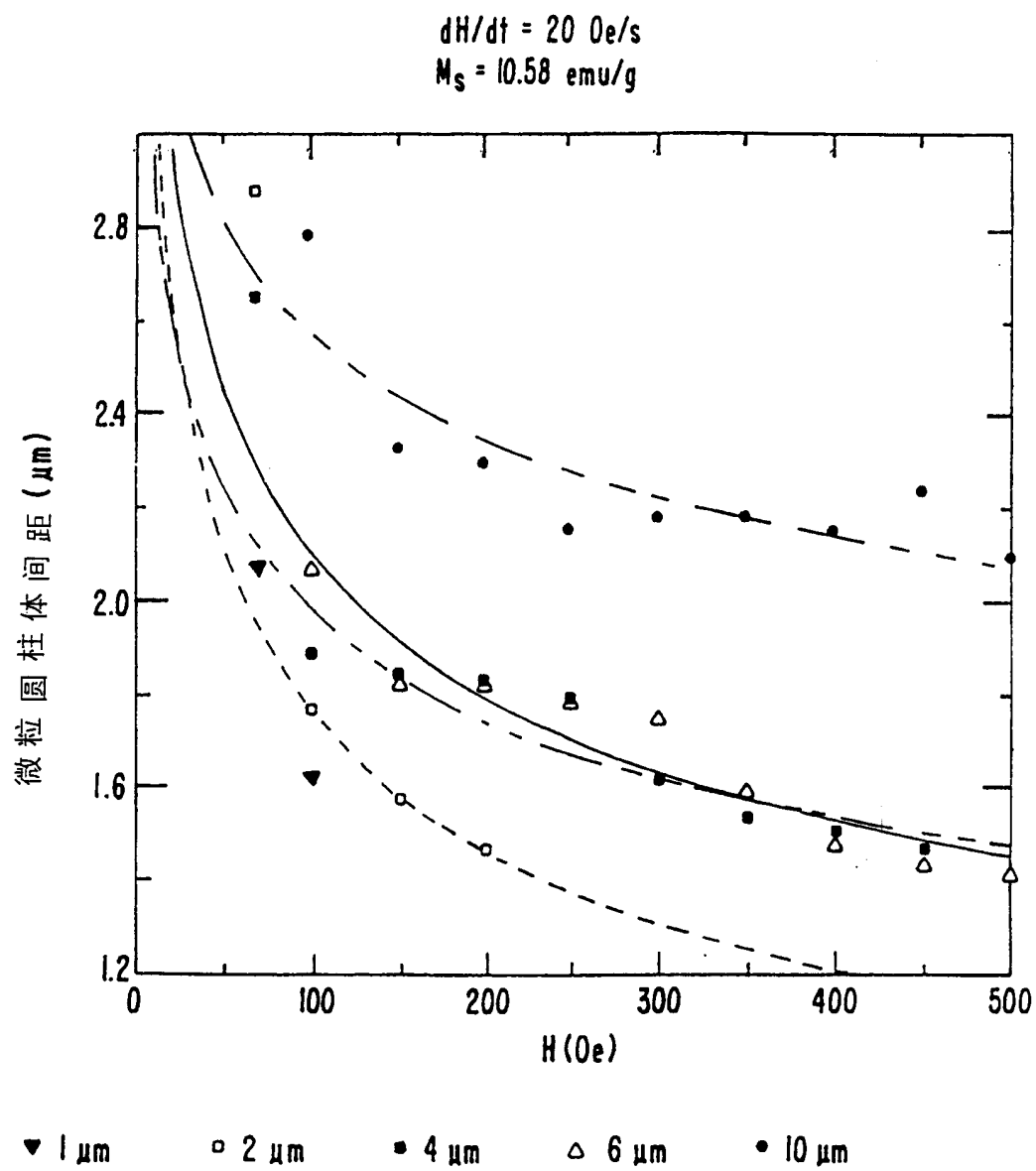


图5

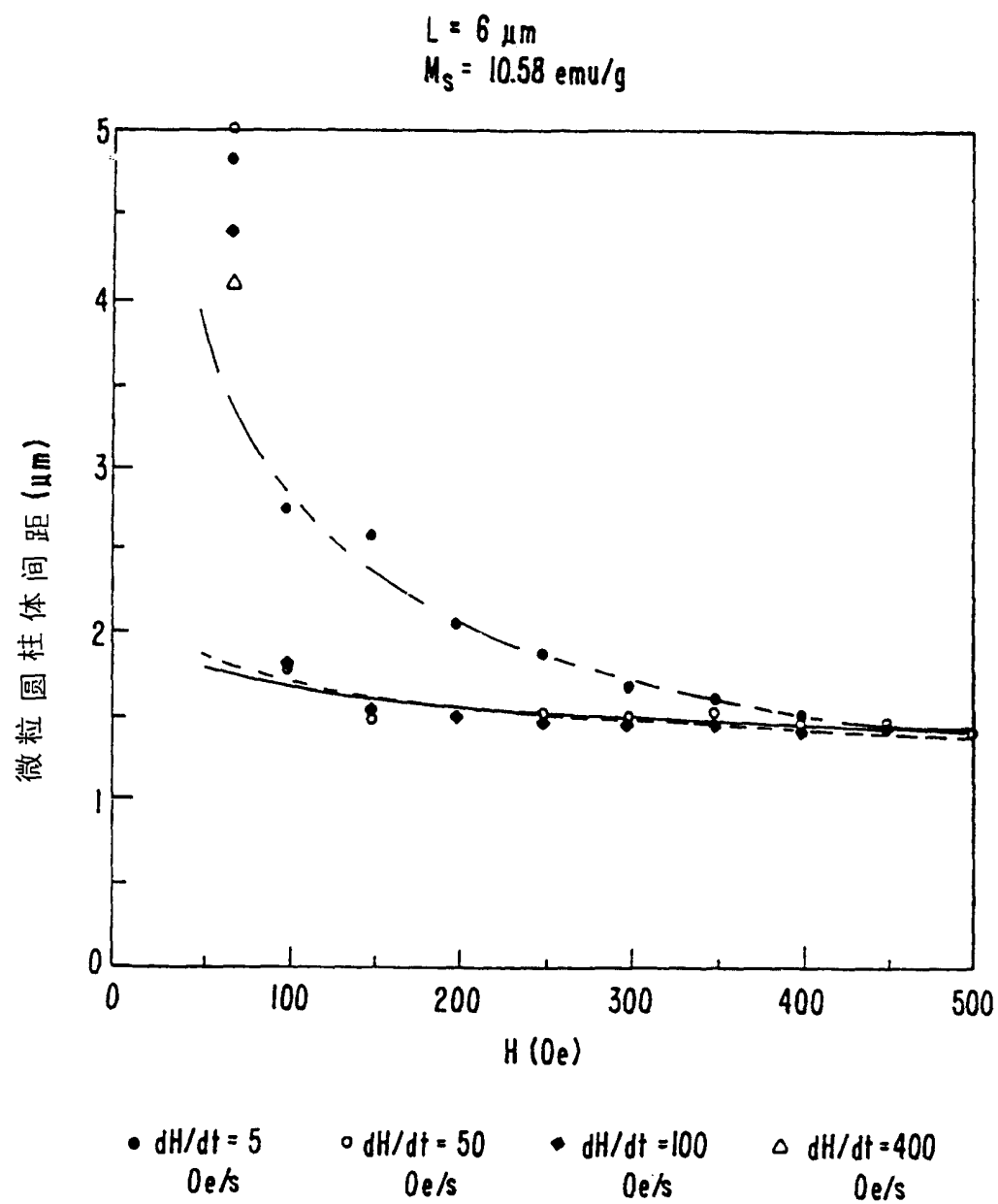


图6

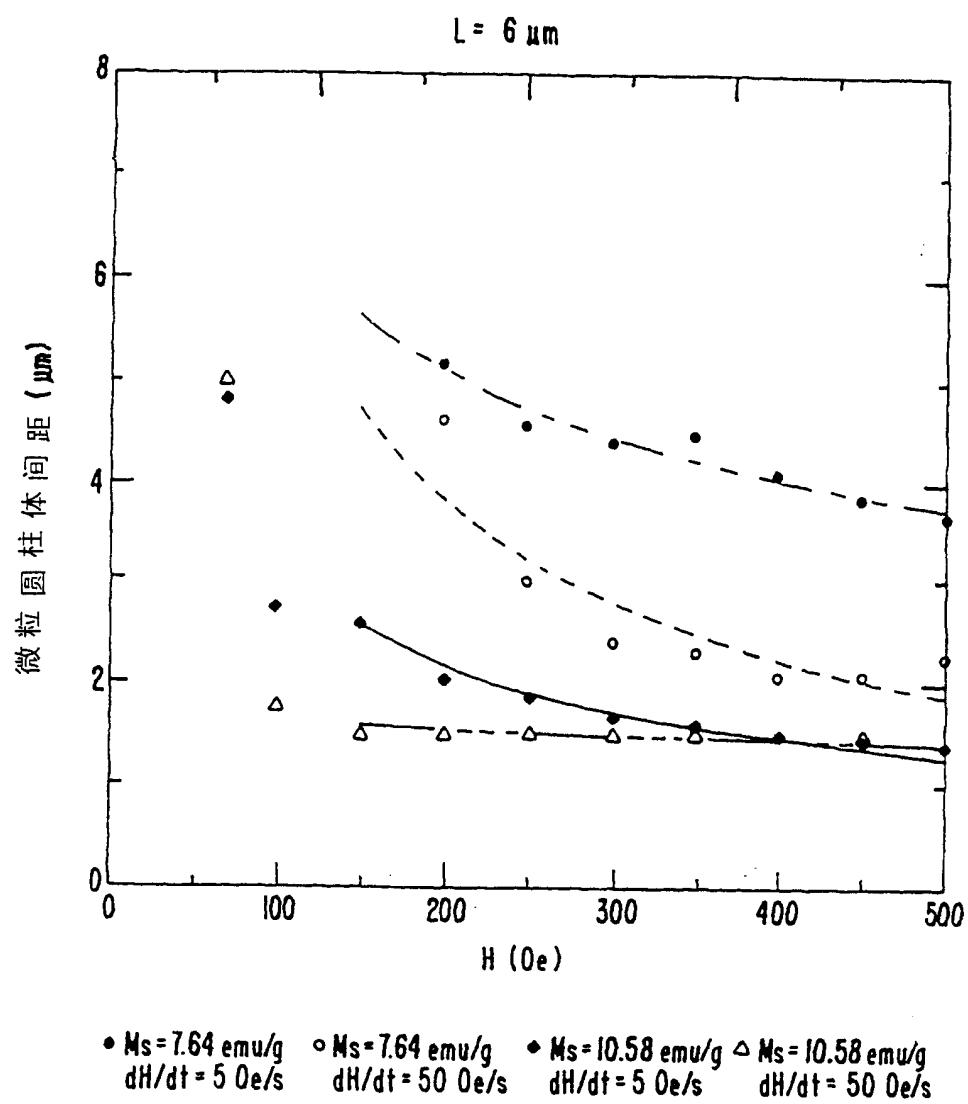
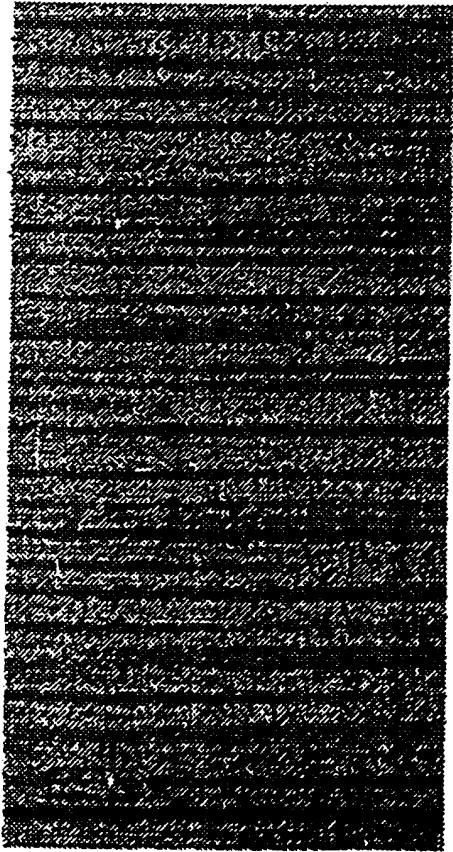
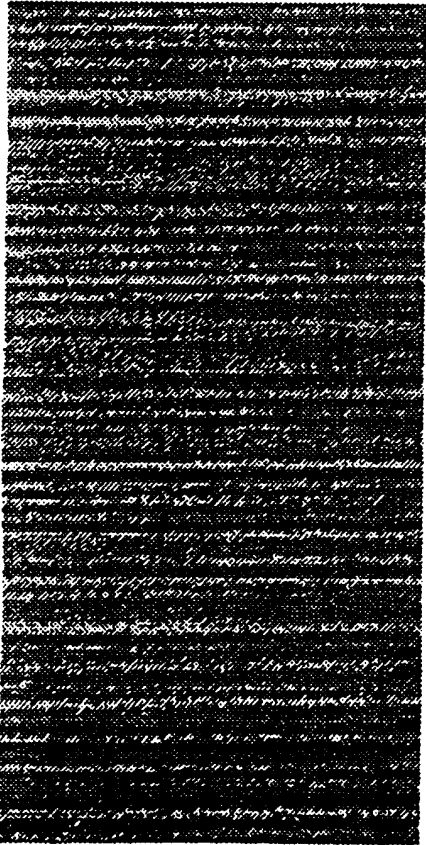


图7



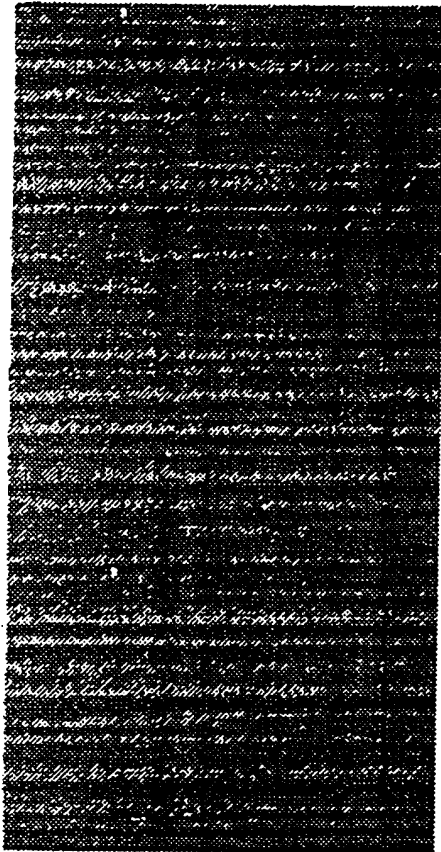
H=50 Oe, L=6 μ m Ms=10.58 emu/g dH/dt=50 Oe/s

图 8A



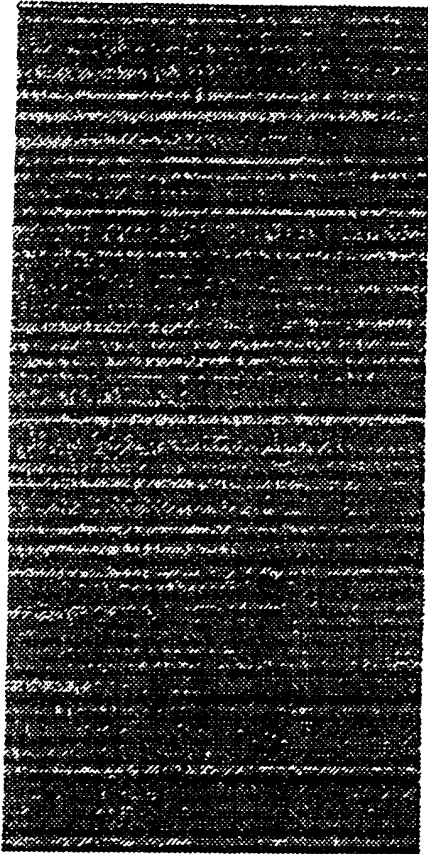
H=200 Oe, L=6 μ m Ms=10.58 emu/g dH/dt=50 Oe/s

图 8C



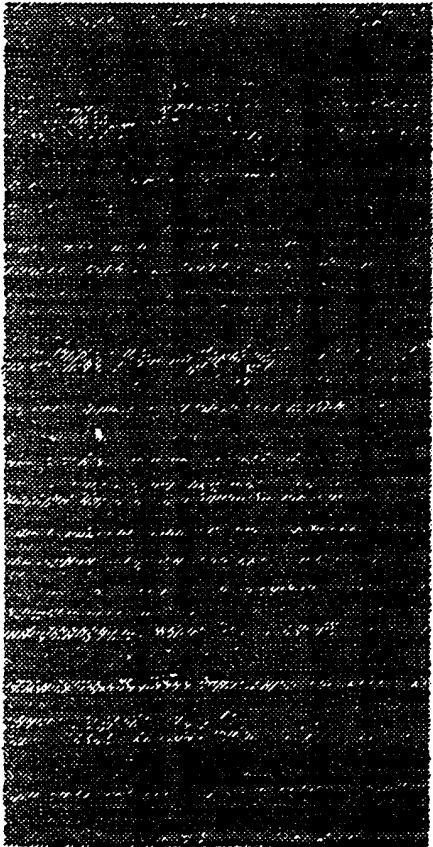
H=100 Oe, L=6 μ m Ms=10.58 emu/g dH/dt=50 Oe/s

图 8B



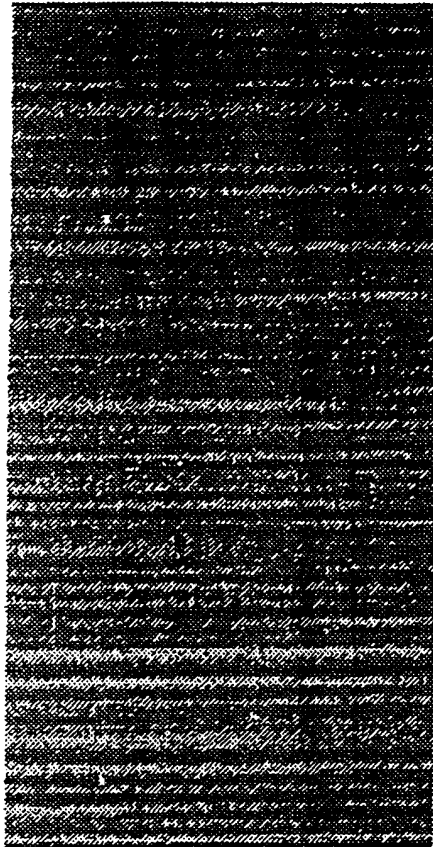
H=300 Oe, L=6 μ m Ms=10.58 emu/g dH/dt=50 Oe/s

图 8D



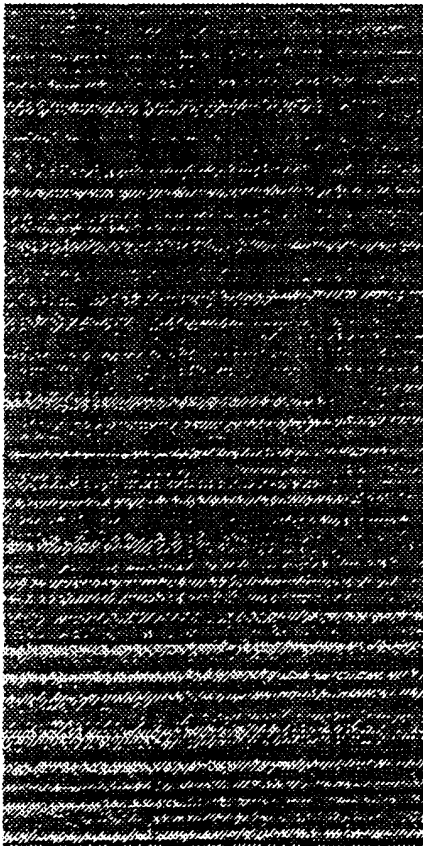
L = 10 μm , H = 200 Oe Ms = 10.58 emu/g dH/dt = 50 Oe/s

图9A



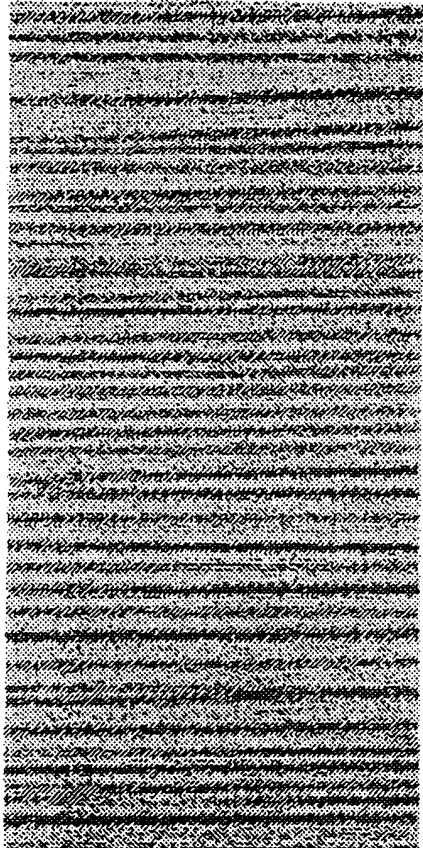
L = 6 μm , H = 200 Oe Ms = 10.58 emu/a dH/dt = 50 Oe/s

图9B



L = 4 μm , H = 200 Oe Ms = 10.58 emu/g dH/dt = 50 Oe/s

图9C



L = 2 μm , H = 200 Oe Ms = 10.58 emu/g dH/dt = 50 Oe/s

图9D

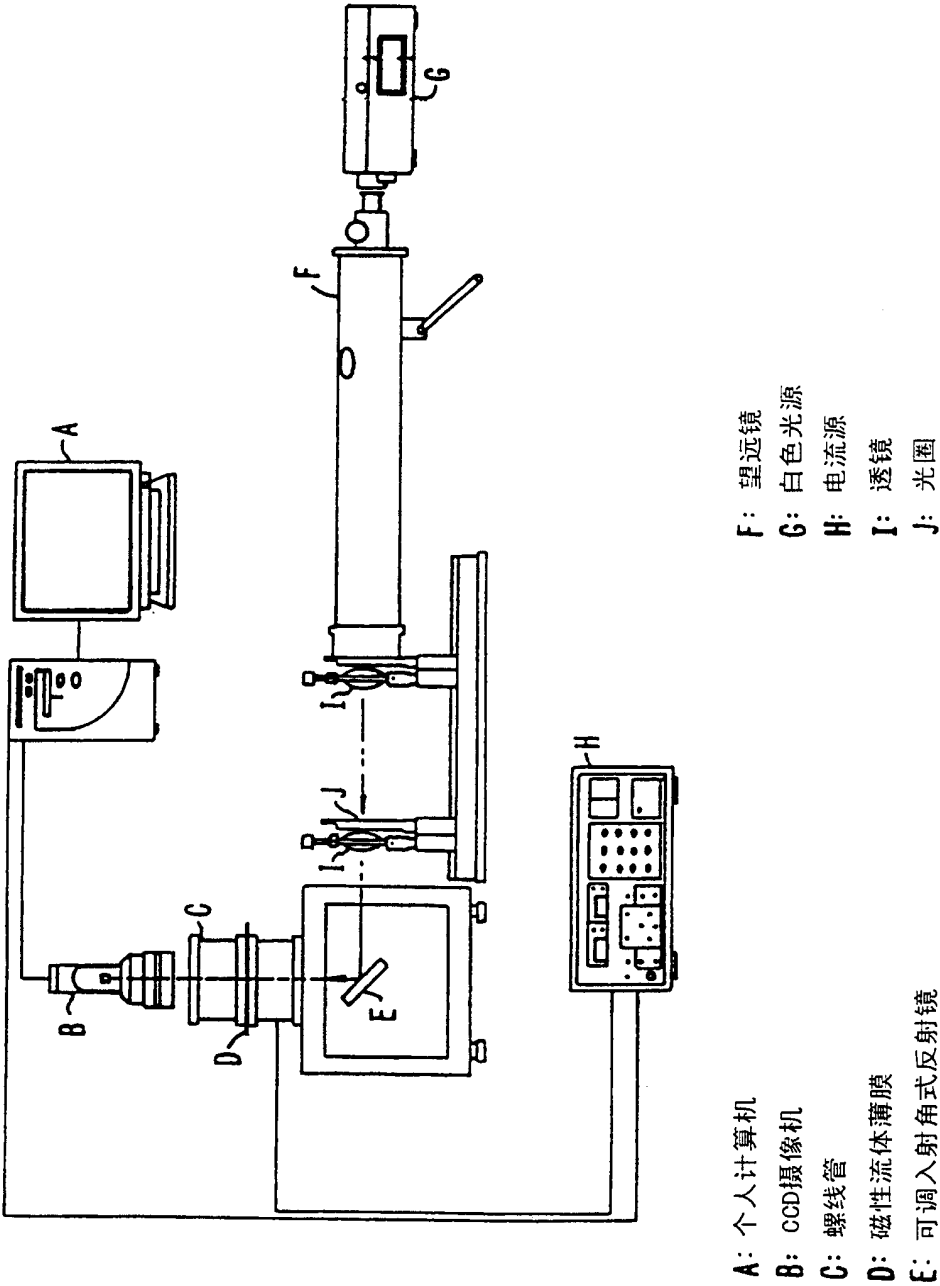
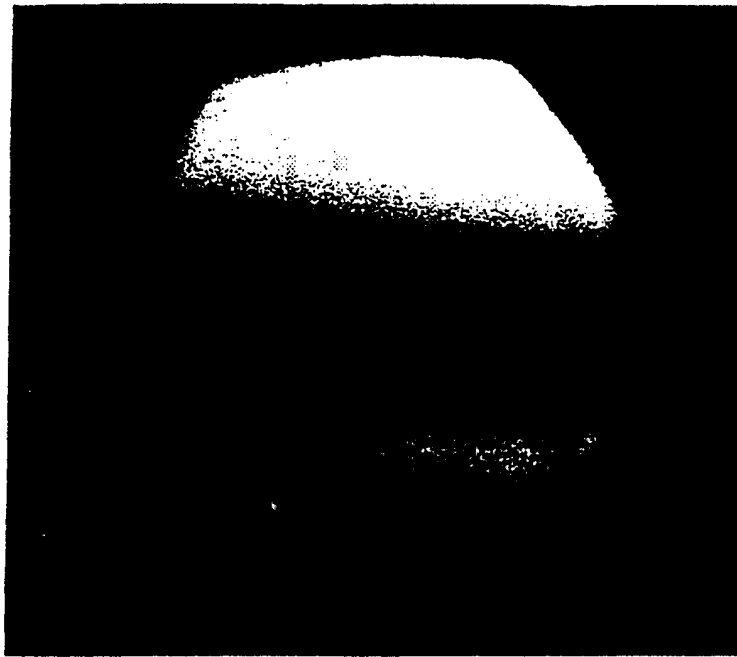
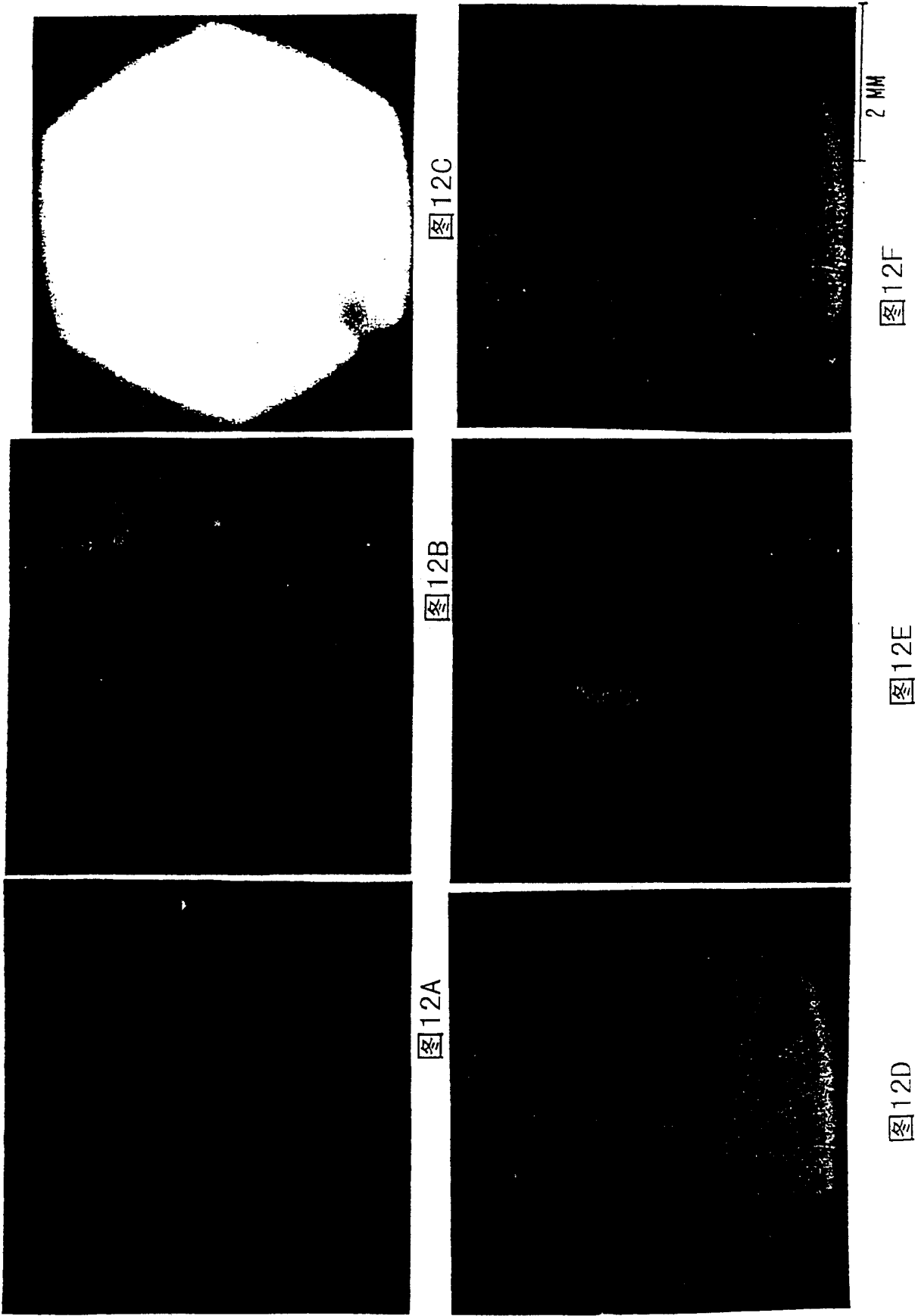


图10



2 MM

图11



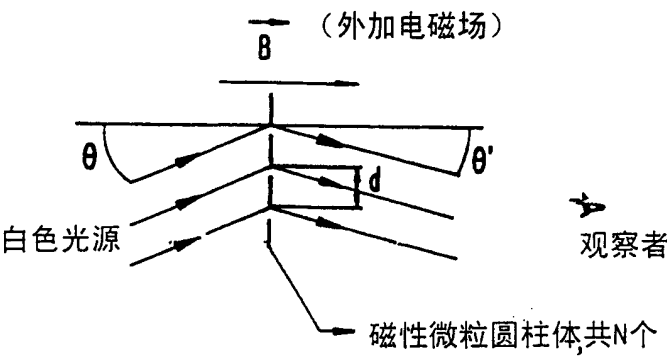


图13

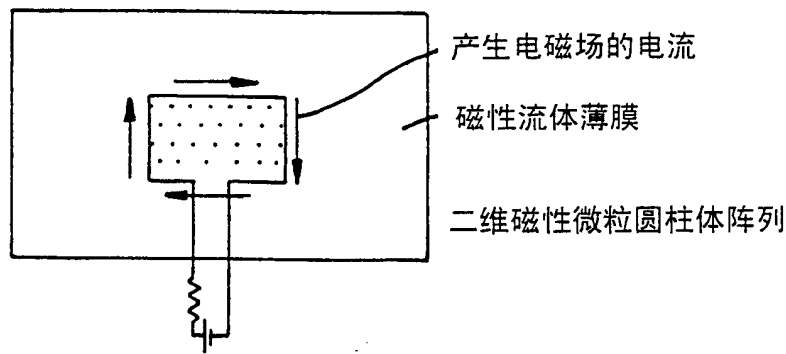


图14

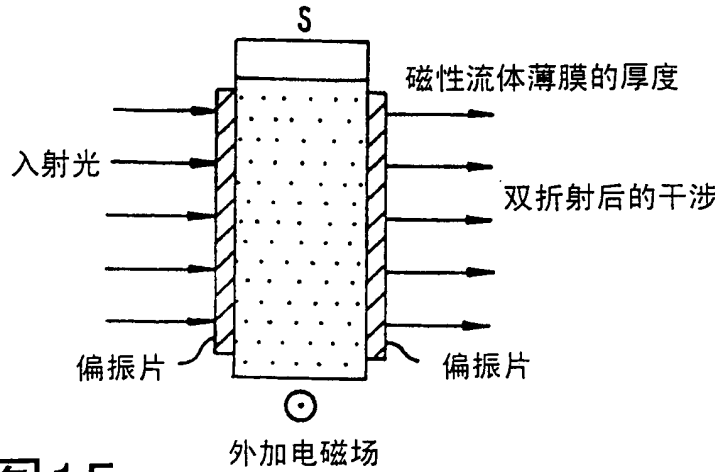


图15