



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104508467 B

(45)授权公告日 2017.10.20

(21)申请号 201380041032.X

(22)申请日 2013.08.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104508467 A

(43)申请公布日 2015.04.08

(30)优先权数据
2012-178767 2012.08.10 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.02.02

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2013/071699 2013.08.09

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/025030 JA 2014.02.13

(73)专利权人 浜松光子学株式会社
地址 日本静冈县

(72)发明人 丸山芳弘 柴山胜己 伊藤将师
广畑彻 龟井宏记

(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322
代理人 杨琦

(51)Int.Cl.
G01N 21/65(2006.01)
B82Y 15/00(2006.01)
B82Y 40/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 101057132 A, 2007.10.17,
JP 特开2011107032 A, 2011.06.02,
EP 2278301 A1, 2011.01.26,
JP 2009236830 A, 2009.10.15,
US 2011166045 A1, 2011.07.07,

审查员 韩莉莉

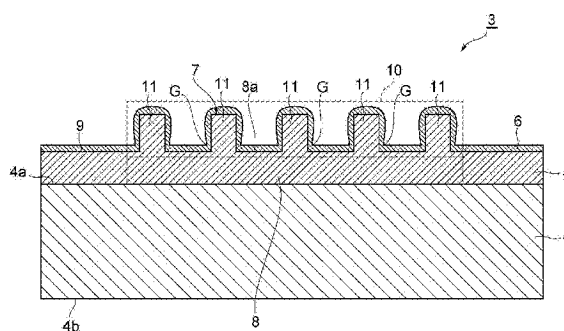
权利要求书2页 说明书6页 附图10页

(54)发明名称

表面增强拉曼散射元件

(57)摘要

SERS元件(3)包括:基板(4);细微结构部(7),其形成于基板(4)的表面(4a),且具有多个柱(11);及导电体层(6),其形成于细微结构部(7)上,且构成产生表面增强拉曼散射的光学功能部(10)。导电体层(6)具有以沿着基板(4)的表面(4a)的方式形成的基底部、及在与各柱(11)对应的位置自基底部突出的多个突出部。在导电体层(6),通过基底部与突出部,形成有柱(11)突出的方向上的间隔递减的多个间隙(G)。



1. 一种表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
包括:
基板,其具有主面;
细微结构部,其形成于所述主面上,且具有多个凸部;及
导电体层,其形成于所述细微结构部上,且构成产生表面增强拉曼散射的光学功能部,
所述导电体层具有以沿着所述主面的方式形成的基底部、及在与所述凸部的各个对应的位置自所述基底部突出的多个突出部,

在所述导电体层,由所述基底部与所述突出部,形成有所述凸部突出的方向上的间隔递减的多个间隙,

在自所述凸部突出的方向观察的情况下,所述间隙以沿着所述凸部的各个的一部分的方式形成,且在其两端部所述间隔递减。

2. 如权利要求1所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述凸部沿着所述主面被周期性地排列。

3. 如权利要求1所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述间隙配置于相对于所对应的所述凸部为相同的一侧。

4. 如权利要求2所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述间隙配置于相对于所对应的所述凸部为相同的一侧。

5. 如权利要求1所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述间隙的所述间隔连续性地递减。

6. 如权利要求2所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述间隙的所述间隔连续性地递减。

7. 如权利要求3所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述间隙的所述间隔连续性地递减。

8. 如权利要求4所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述间隙的所述间隔连续性地递减。

9. 如权利要求1所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

10. 如权利要求2所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

11. 如权利要求3所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

12. 如权利要求4所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

13. 如权利要求5所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

14. 如权利要求6所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

15. 如权利要求7所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。

16. 如权利要求8所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述突出部具有在所述基板侧的端部变细的形状。
17. 如权利要求1至16中任一项所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述基底部的厚度小于所述凸部的高度。
18. 如权利要求1至16中任一项所述的表面增强拉曼散射元件,其特征在于,
所述基底部的厚度大于所述凸部的高度。

表面增强拉曼散射元件

技术领域

[0001] 本发明涉及一种表面增强拉曼散射元件。

背景技术

[0002] 作为现有的表面增强拉曼散射元件,众所周知有一种具备使表面增强拉曼散射(SERS:Surface Enhanced Raman Scattering)产生的微小金属结构体的表面增强拉曼散射元件(例如参照专利文献1以及非专利文献1)。在这样的表面增强拉曼散射元件中,成为拉曼分光分析的对象试样接触于微小金属结构体,在该状态下如果激发光被照射于该试样的话则发生表面增强拉曼散射,例如增强到 10^8 倍左右的拉曼散射光被放出。

[0003] 可是,例如在专利文献2中记载有金属层以成为非接触状态的方式(以最短部分的间隔成为 $5\text{nm}\sim 10\mu\text{m}$ 左右的方式)分别被形成于基板的一面以及被形成于该基板的一面的多个微小突起部的上表面(或者被形成于该基板的一面的多个细微孔的底面)的微小金属结构体。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本专利申请公开2011-33518号公报

[0007] 专利文献2:日本专利申请公开2009-222507号公报

[0008] 非专利文献

[0009] 非专利文献1:“Q-SERSTM G1Substrate”、[online]、OPTOSICENCE株式会社、[平成24年7月19日检索]、Internet<URL:http://www.optoscience.com/maker/nanova/pdf/Q-SERS_G1.pdf>

发明内容

[0010] 发明所要解决的问题

[0011] 如上所述,若所谓纳米间隙(nanogap)形成于微小金属构造体,则在照射激发光时引起局部性的电场的增强,表面增强拉曼散射的强度增大。

[0012] 因此,本发明的目的在于提供可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大的表面增强拉曼散射元件。

[0013] 解决问题的技术手段

[0014] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件包括:基板,其具有主面;细微结构部,其形成于主面上,且具有多个凸部;及导电体层,其形成于细微结构部上,且构成产生表面增强拉曼散射的光学功能部;导电体层具有以沿着主面的方式形成的基底部、及在与凸部的各个对应的位置自基底部突出的多个突出部,在导电体层上,通过基底部与突出部,形成有凸部突出的方向上的间隔递减的多个间隙。

[0015] 该表面增强拉曼散射元件中,由基底部与突出部,凸部突出的方向上的间隔递减的多个间隙形成于构成光学功能部的导电体层。形成于该导电体层的间隙作为引起局部性

的电场的增强的纳米间隙而适宜地发挥功能。因此,根据该表面增强拉曼散射元件,可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大。

[0016] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件中,凸部也可沿着主面被周期性地排列。根据该构成,可使表面增强拉曼散射的强度增大。

[0017] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件中,在自凸部突出的方向观察的情况下,间隙也可以沿着凸部的各个的一部分的方式形成,且在其两端部间隔递减。根据该构成,可使作为纳米间隙而适宜地发挥功能的间隙增加。

[0018] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件中,间隙也可配置于相对于所对应的凸部为相同的一侧。根据该构成,可使具有规定的偏光方向的光的强度选择性地增大。

[0019] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件中,间隙的间隔也可连续性地递减。根据该构成,可使由基底部与突出部而形成的间隙作为纳米间隙而可靠地发挥功能。

[0020] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件中,突出部也可具有在基板侧的端部变细的形状。根据该构成,可容易且可靠地获得凸部突出的方向上的间隔递减的间隙。

[0021] 本发明的一个侧面的表面增强拉曼散射元件中,基底部的厚度也可小于凸部的高度,或者,基底部的厚度也可大于凸部的高度。根据任一构成,均可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大。

[0022] 发明的效果

[0023] 根据本发明,可提供可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大的表面增强拉曼散射元件。

附图说明

[0024] 图1是具备本发明的一个实施方式的表面增强拉曼散射元件的表面增强拉曼散射单元的平面图。

[0025] 图2是沿着图1的II-II线的剖面图。

[0026] 图3是图1的表面增强拉曼散射元件的光学功能部的纵剖面图。

[0027] 图4是图3的光学功能部的柱及导电体层的立体图。

[0028] 图5是图3的光学功能部的柱及导电体层的平面图。

[0029] 图6是表示图1的表面增强拉曼散射元件的制造工序的剖面图。

[0030] 图7是表示图1的表面增强拉曼散射元件的制造工序的剖面图。

[0031] 图8是实施例1的表面增强拉曼散射元件的光学功能部的SEM照片。

[0032] 图9是表示实施例1的表面增强拉曼散射元件的蒸镀工序的构成图。

[0033] 图10是表示关于实施例1的表面增强拉曼散射元件的斯托克位移与信号强度的关系的图表。

[0034] 图11是表示关于实施例1的表面增强拉曼散射元件的基板旋转角度与信号强度的关系的图表。

[0035] 图12是表示关于实施例1的表面增强拉曼散射元件的柱间距与信号强度的关系的图表。

[0036] 图13是图3的光学功能部的变化例的柱及导电体层的平面图。

具体实施方式

[0037] 以下,参照附图,对本发明的优选的实施方式进行详细的说明。再者,在各图中对相同或相当部分附上相同符号,并省略重复的说明。

[0038] 如图1及图2所示,SERS单元(表面增强拉曼散射单元)1包括处理基板2及安装于处理基板2上的SERS元件(表面增强拉曼散射元件)3。处理基板2为矩形板状的载物玻璃(slide glass)、树脂基板或陶瓷基板等。SERS元件3在偏向于处理基板2的长边方向上的一端部的状态下,配置于处理基板2的表面2a。

[0039] SERS元件3包括安装于处理基板2上的基板4、形成于基板4上的成形层5、及形成于成形层5上的导电体层6。基板4通过硅或玻璃等而形成成为矩形板状,且具有数百 μm ×数百 μm ~数十mm×数十mm左右的外形及100 μm ~2mm左右的厚度。基板4的背面4b通过直接接合(direct bonding)、使用焊料等的金属的接合、共晶接合、由激光的照射等进行的熔融接合、阳极接合、或使用树脂的接合而固定于处理基板2的表面2a。

[0040] 如图3所示,成形层5包含细微结构部7、支撑部8、及框部9。细微结构部7为具有周期性图案的区域,且在成形层5的中央部形成于与基板4相反侧的表层。在细微结构部7,具有数nm~数百nm左右的直径及高度的圆柱状的多个柱(凸部)11沿着基板4的表面(主面)4a,以数十nm~数百nm左右(优选为250nm~800nm)的间距而周期性地排列。在自基板4的厚度方向观察的情况下,细微结构部7具有数mm×数mm左右的矩形状的外形。支撑部8为支撑细微结构部7的矩形状的区域,且形成于基板4的表面4a。框部9为包围支撑部8的矩形环状的区域,且形成于基板4的表面4a。支撑部8及框部9具有数十nm~数十 μm 左右的厚度。这样的成形层5例如通过纳米压印法将配置于基板4上的树脂(丙烯酸系、氟系、环氧系、硅酮系、胺基甲酸酯系、PET、聚碳酸酯、无机有机混合材料等)或低熔点玻璃成形,由此一体地形成。

[0041] 导电体层6自细微结构部7遍及框部9而形成。在细微结构部7,导电体层6到达露出于与基板4相反侧的支撑部8的表面8a。导电体层6具有数nm~数 μm 左右的厚度。这样的导电体层6例如通过在由纳米压印法成形的成形层5上蒸镀金属(Au、Ag、Al、Cu或Pt等)等的导电体而形成。SERS元件3中,通过细微结构部7及形成于支撑部8的表面8a的导电体层6,构成产生表面增强拉曼散射的光学功能部10。

[0042] 如图4及图5所示,导电体层6具有以沿着基板4的表面4a的方式形成的基底部61、及在与各柱11对应的位置自基底部61突出的多个突出部62。基底部61在支撑部8的表面8a形成为层状。基底部61的厚度为数nm~数百nm左右,且小于柱11的高度。突出部62在使各柱11的一部分露出的状态下以覆盖各柱11的方式形成,且具有至少在基板4侧的端部变细的形状。

[0043] 在导电体层6,通过基底部61与突出部62,形成有柱11突出的方向上的间隔d递减的多个间隙G。间隙G具有0~数百nm左右的间隔d。在自柱11突出的方向观察的情况下,间隙G以沿着各柱11的一部分的方式形成为月牙状,间隔d在其两端部G1连续性地递减。即,柱11突出的方向上的间隙G的间隔d随着靠近两端而逐渐变小。此处,各间隙G配置于相对于所对应的柱11为相同的一侧。

[0044] 再者,基底部61的厚度也可大于柱11的高度,且突出部62也可形成于各柱11的延长线上。在该情况下,在导电体层6上,通过基底部61与突出部62,也形成柱11突出的方向上

的间隔 d 递减的间隙 G 。

[0045] 如以上所述构成的SERS单元1如下所述被使用。首先,将由例如硅酮等构成的环状的隔离物以包围SERS元件3的方式配置于处理基板2的表面2a。继而,使用移液管等,将溶液的试样(或者,使粉体的试样分散于水或乙醇等的溶液后的溶液)滴下至隔离物的内侧,将试样配置于光学功能部10上。继而,为了防止溶剂的蒸发,另外为了使透镜效果降低,将覆盖玻璃(cover glass)载置于隔离物上,并与溶液的试样紧密附着。

[0046] 继而,将SERS单元1设置(set)于拉曼分光分析装置,对配置于光学功能部10上的试样,经由覆盖玻璃而照射激发光。由此,在光学功能部10与试样的界面产生表面增强拉曼散射,来自试样的拉曼散射光被增强而放出。由此,拉曼分光分析装置中,可实现高精度的拉曼分光分析。

[0047] 再者,在光学功能部10上配置试样的方法除了上述方法以外,有如下方法。例如,也可把持处理基板2,使SERS元件3浸渍于作为溶液的试样(或者,使粉体的试样分散于水或乙醇等的溶液后的溶液)而提起,进行喷吹而使试样干燥。另外,也可将微量的作为溶液的试样(或者,使粉体的试样分散于水或乙醇等的溶液后的溶液)滴下至光学功能部10上,使试样自然干燥。另外,也可使作为粉体的试样就这样分散于光学功能部10上。

[0048] 其次,对SERS元件3的制造方法的一个例子进行说明。首先,如图6(a)所示,准备母模MM及膜基材F。母模MM包含与细微结构部7对应的细微结构部M7、及支撑细微结构部M7的支撑部M8。在支撑部M8上,多个细微结构部M7排列为矩阵状。继而,如图6(b)所示,将膜基材F推压于母模MM,在该状态下加压及加热,由此将多个细微结构部M7的图案复制至膜基材F。继而,如图6(c)所示,通过将膜基材F自母模MM脱模,从而获得复制有多个细微结构部M7的图案的复型模(复型膜)RM。再者,复型模RM也可是在膜基材F上涂布树脂(例如,环氧系树脂、丙烯酸系树脂、氟系树脂、硅酮系树脂、胺基甲酸酯树脂、或有机无机混合树脂等)而形成的复型模。在涂布于膜基材F上的树脂具有UV硬化性的情况下,不是通过热纳米压印,而是通过照射UV使涂布于膜基材F上的树脂硬化,从而可获得复型模R(UV纳米压印)。

[0049] 继而,如图7(a)所示,准备成为基板4的硅晶圆40,在其表面40a涂布UV硬化性的树脂,由此在硅晶圆40上形成成为成形层5的纳米压印层50。继而,如图7(b)所示,将复型模RM推压于纳米压印层50,在该状态下照射UV而使纳米压印层50硬化,由此将复型模RM的图案复制至纳米压印层50。继而,如图7(c)所示,通过将复型模RM自纳米压印层50脱模,从而获得形成有多个细微结构部7的硅晶圆40。

[0050] 继而,通过蒸镀法而将Au、Ag等的金属成膜于成形层5上,形成导电体层6。继而,通过按每个细微结构部7(换言之,按每个光学功能部10)切断硅晶圆40,而获得多个SERS元件3。为了获得SERS单元1,可以将如上所述制造的SERS元件3安装于处理基板2上。

[0051] 再者,也可代替上述纳米压印法,通过光刻或电子束描绘等而形成具有二维形状的图案的掩膜,通过使用该掩膜的蚀刻,在基板4上形成细微结构部7。在任一情况下,均通过蒸镀法而在细微结构部7形成导电体层6,由此可利用简单的工序且再现性良好地在导电体层6形成纳米级的间隙 G ,从而可实现SERS元件3的大量生产。

[0052] 如以上所说明的那样,SERS元件3中,通过基底部61与突出部62,柱11突出的方向上的间隔 d 递减的多个间隙 G 被形成于构成光学功能部10的导电体层6。形成于该导电体层6的间隙 G 作为引起局部性的电场的增强的纳米间隙而适宜地发挥功能(间隙 G 的间隔 d 为

20nm以下的部分中特别适宜地发挥功能)。因此,根据SERS元件3,可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大。

[0053] 另外,多个柱11沿着基板4的表面4a被周期性地排列,因而可使表面增强拉曼散射的强度增大。

[0054] 另外,在自柱11突出的方向观察的情况下,间隙G以沿着柱11的一部分的方式形成,且在其两端部G1间隔d递减,因而可使作为纳米间隙而适宜地发挥功能的间隙G增加。

[0055] 另外,各间隙G配置于相对于所对应的柱11为相同的一侧,因而可使具有规定的偏光方向的光的强度选择性地增大。

[0056] 另外,通过使间隙G的间隔d连续性地递减,可使间隙G作为纳米间隙而可靠地发挥功能。

[0057] 另外,若突出部62如本实施例那样具有在基板4侧的端部变细的形状且与基底部接触,则可容易且可靠地获得柱11突出的方向上的间隔d递减的间隙G。

[0058] 其次,对具有图4及图5所示的柱11及导电体层6的SERS元件3的实施例进行说明。图8是实施例1的SERS元件的光学功能部的SEM照片。再者,图8是自相对于与基板的表面垂直的方向倾斜 30° 的方向对光学功能部摄影的SEM照片。

[0059] 如下所述制作实施例1的SERS元件。首先,使用孔径120nm及孔深度200nm的孔以孔间隔(相邻的孔的中心线间的距离)360nm排列为正方格子状的模具,将由玻璃构成的基板上的树脂由纳米压印法成形,制作细微结构部。在所制作的细微结构部,柱的直径为120nm,高度为180nm,柱间距(相邻的柱的中心线间的距离)为360nm。

[0060] 继而,在所制作的细微结构部上由电阻加热真空蒸镀法成膜Ti作为缓冲层。缓冲层的成膜条件为“膜厚:2nm,蒸镀速率:0.02nm/s,成膜时的真空度: 2×10^{-5} torr,基板倾斜角度: 20° ,基板旋转:无,基板温度控制:无”。继而,在缓冲层上由电阻加热真空蒸镀法成膜Au作为导电体层,获得实施例1的SERS元件。导电体层的成膜条件为“膜厚:50nm,蒸镀速率:0.02nm/s,成膜时的真空度: 1.5×10^{-5} torr,基板倾斜角度: 20° ,基板旋转:无,基板温度控制:无”。

[0061] 此处,所谓基板倾斜角度: θ ,如图9(a)、(b)所示,是指以蒸镀源100的蒸镀方向D1与垂直于基板4的表面4a的方向D2成为角度 θ 的方式,相对于蒸镀源100配置基板4。图8的光学功能部的SEM照片中,自图8的右跟前侧进行蒸镀,因而相对于柱在左侧开有间隙。

[0062] 图10是表示关于实施例1的SERS元件的斯托克位移与信号强度的关系的图表,图11是表示关于实施例1的SERS元件的基板旋转角度与信号强度的关系的图表。此处,将实施例1的SERS元件浸渍于巯基苯甲酸乙醇溶液(1mM)2小时之后,由乙醇冲洗,并利用氮气使其干燥,将试样配置于该SERS元件的光学功能部上。关于该试样,一边围绕与基板的表面垂直的中心线使基板每旋转 45° 一边在各基板旋转角度(即, 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180°)下由波长785nm的激发光进行拉曼分光测定。

[0063] 其结果,如图10所示,基板旋转角度 45° 、 135° 的任一者中,均可获得巯基苯甲酸的SERS光谱。另外,图11是关于图10的情况下的斯托克位移 1072cm^{-1} 的峰值强度的结果,但对应于基板旋转角度,信号强度变化,因而可知若在各柱11间隙配置于相同的一侧,则产生偏光方向的依赖性。再者,基板旋转角度 45° 的情况下,激发光的偏光方向与间隙相对于柱的配置方向一致。

[0064] 图12是表示关于实施例1的表面增强拉曼散射元件的柱间距与信号强度的关系的图表。该图表为关于图10的情况下的斯托克位移 1072cm^{-1} 的峰值强度的结果。如图12所示,可知在基板旋转角度 45° 、 135° 的任一者中,表面增强拉曼散射的强度均依赖于柱间距(相邻的柱的中心线间的距离),为了谋求表面增强拉曼散射的强度的增大,柱间距优选为 $250\text{nm}\sim 800\text{nm}$ 。即使柱的直径不同,也大概附合该曲线。再者,所谓图12的图表中的“占空比(duty)”,是指细微结构部的柱宽度与柱间的空间的比。

[0065] 以上,对本发明的一个实施方式进行了说明,但本发明并不限于上述实施方式。例如,柱11的排列构造并不限于二维的排列,也可为一维的排列,且并不限于正方格子状的排列,也可三角格子状的排列。另外,柱11的剖面形状并不限于圆形,也可椭圆、或者三角形或四边形等的多边形。作为一个例子,如图13所示,即使柱11的剖面形状为四边形,也与柱11的剖面形状为圆形的情况同样地,由基底部61与突出部62,在柱11突出的方向上间隔d递减的间隙G形成于导电体层6。在该情况下,自柱11突出的方向观察的情况下,间隙G也以沿着柱11的一部分的方式形成,且在其两端部G1间隔d连续性地递减。如以上所述,SERS元件3及SERS单元1的各构成的材料及形状并不限于上述材料及形状,可应用各种材料及形状。

[0066] 此处,在着眼于相邻的一对凸部(与柱11对应的凸部)的情况下,由基底部与突出部而形成的间隙的宽度小于形成于一方的凸部的外表面的导电体层与形成于另一方的凸部的外表面的导电体层之间的距离。由此,可容易且稳定地形成仅由细微结构部的构造而无法获得的狭窄的间隙(作为纳米间隙而适宜地发挥功能的间隙)。

[0067] 另外,细微结构部7如上述实施方式那样,例如可隔着支撑部8而间接地形成于基板4的表面4a上,也可直接地形成于基板4的表面4a上。另外,导电体层6如上述实施例那样,可隔着用于使金属相对于细微结构部7的紧密附着性提高的缓冲金属(Ti、Cr等)层等、任意的层而间接地形成于细微结构部7上,也可直接地形成于细微结构部7上。

[0068] 另外,基底部61的厚度如上述实施方式那样,可小于柱11的高度,或者,基底部61的厚度也可大于柱11的高度。根据任一构成,均可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大。

[0069] 产业上的可利用性

[0070] 根据本发明,可提供可通过适宜的纳米间隙而使表面增强拉曼散射的强度增大的表面增强拉曼散射元件。

[0071] 符号的说明

[0072] 3...SERS元件(表面增强拉曼散射元件)、4...基板、4a...表面(主面)、6...导电体层、7...细微结构部、10...光学功能部、11...柱(凸部)、61...基底部、62...突出部、G...间隙。

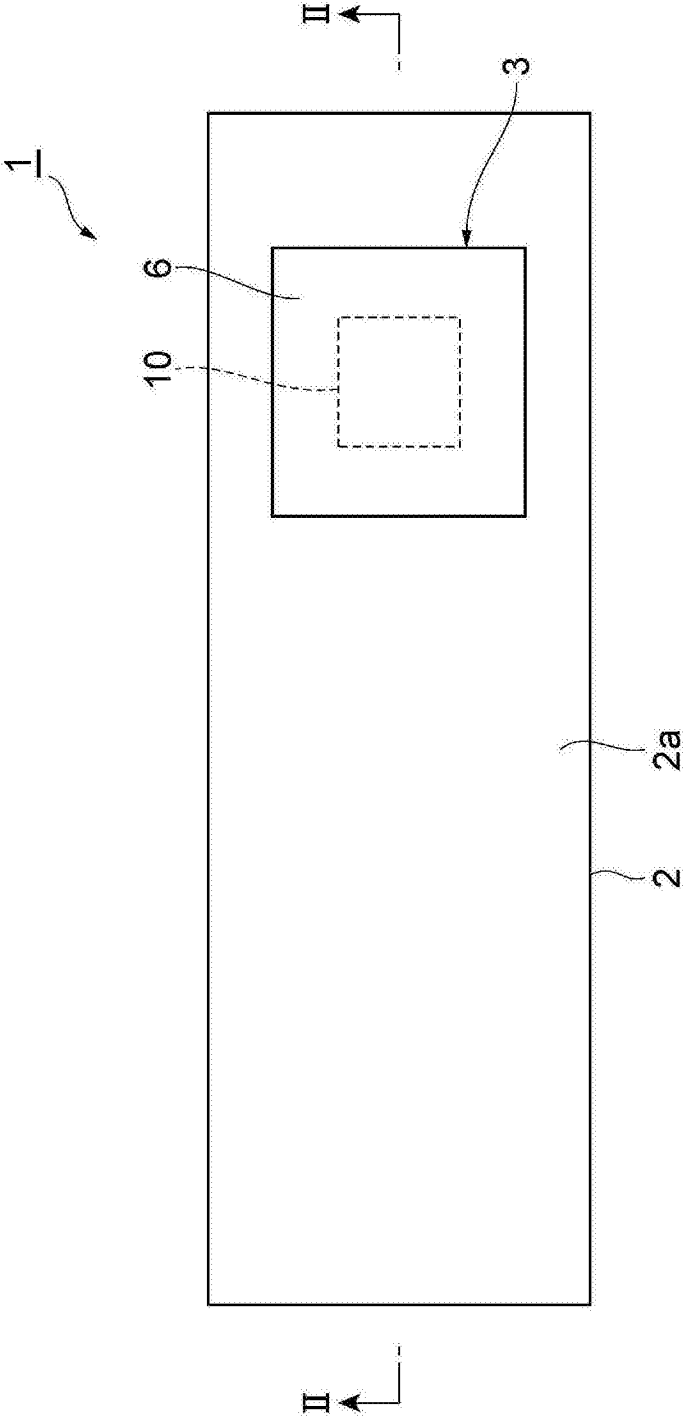


图1

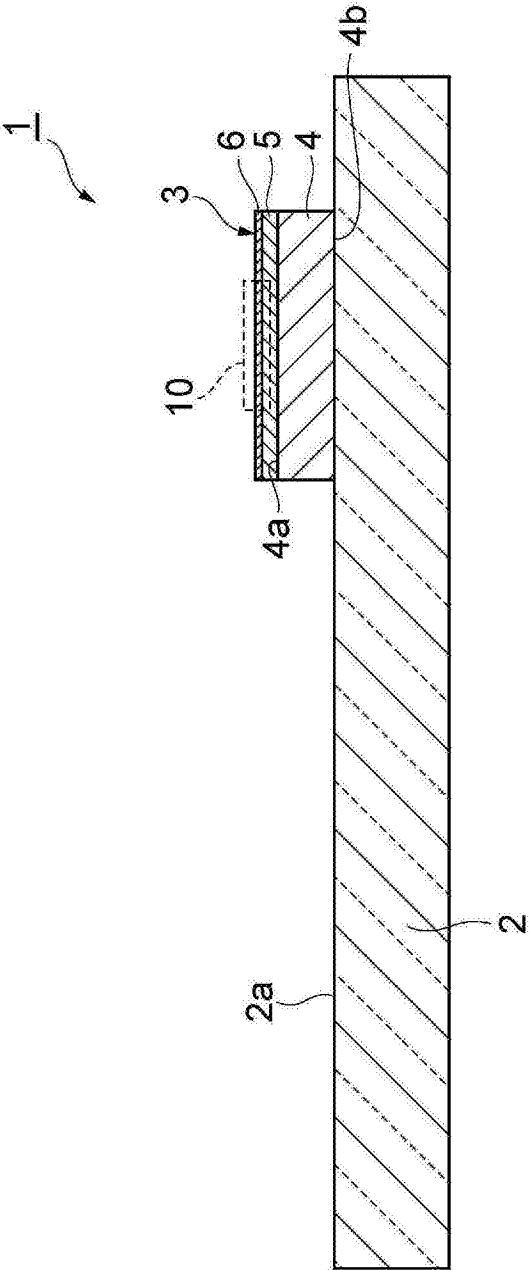


图2

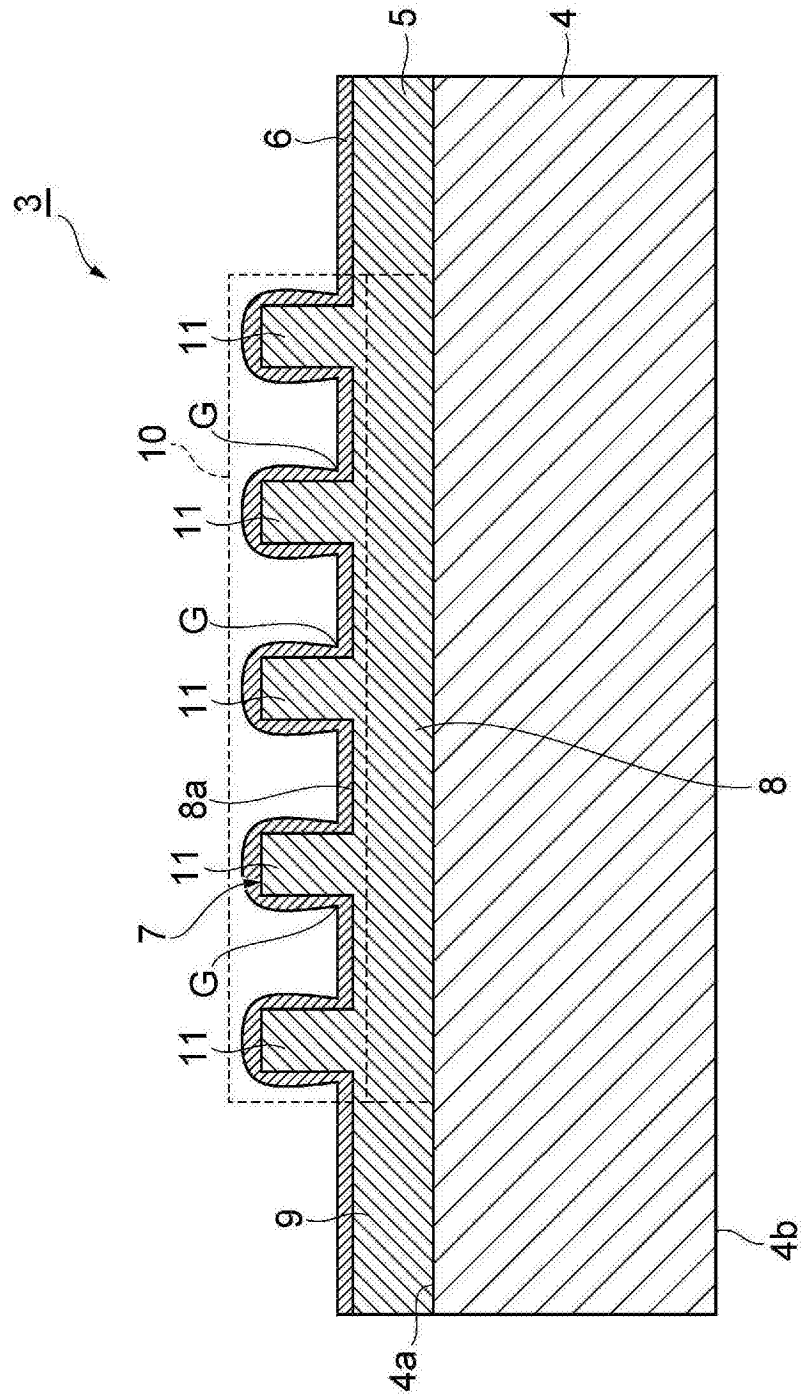


图3

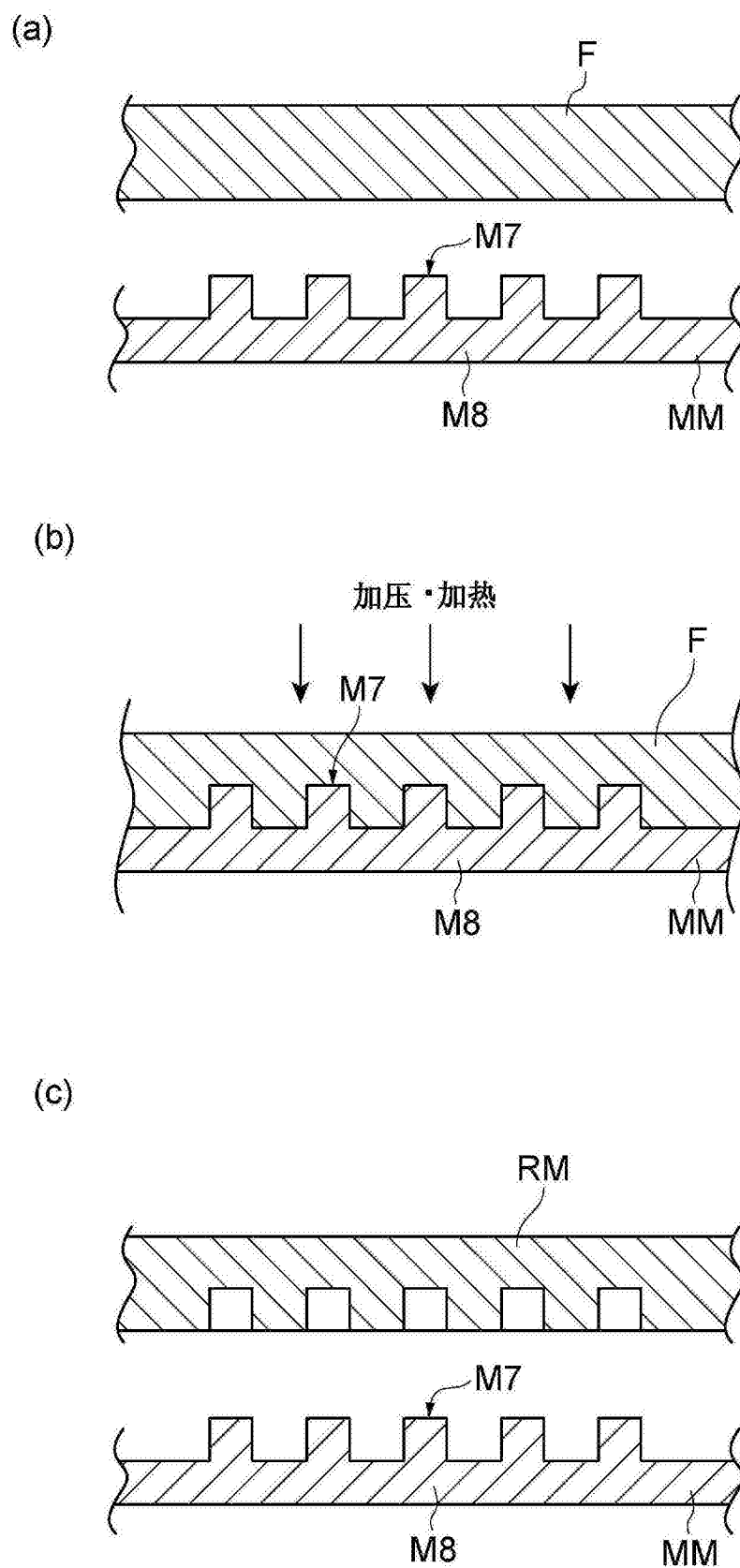


图6

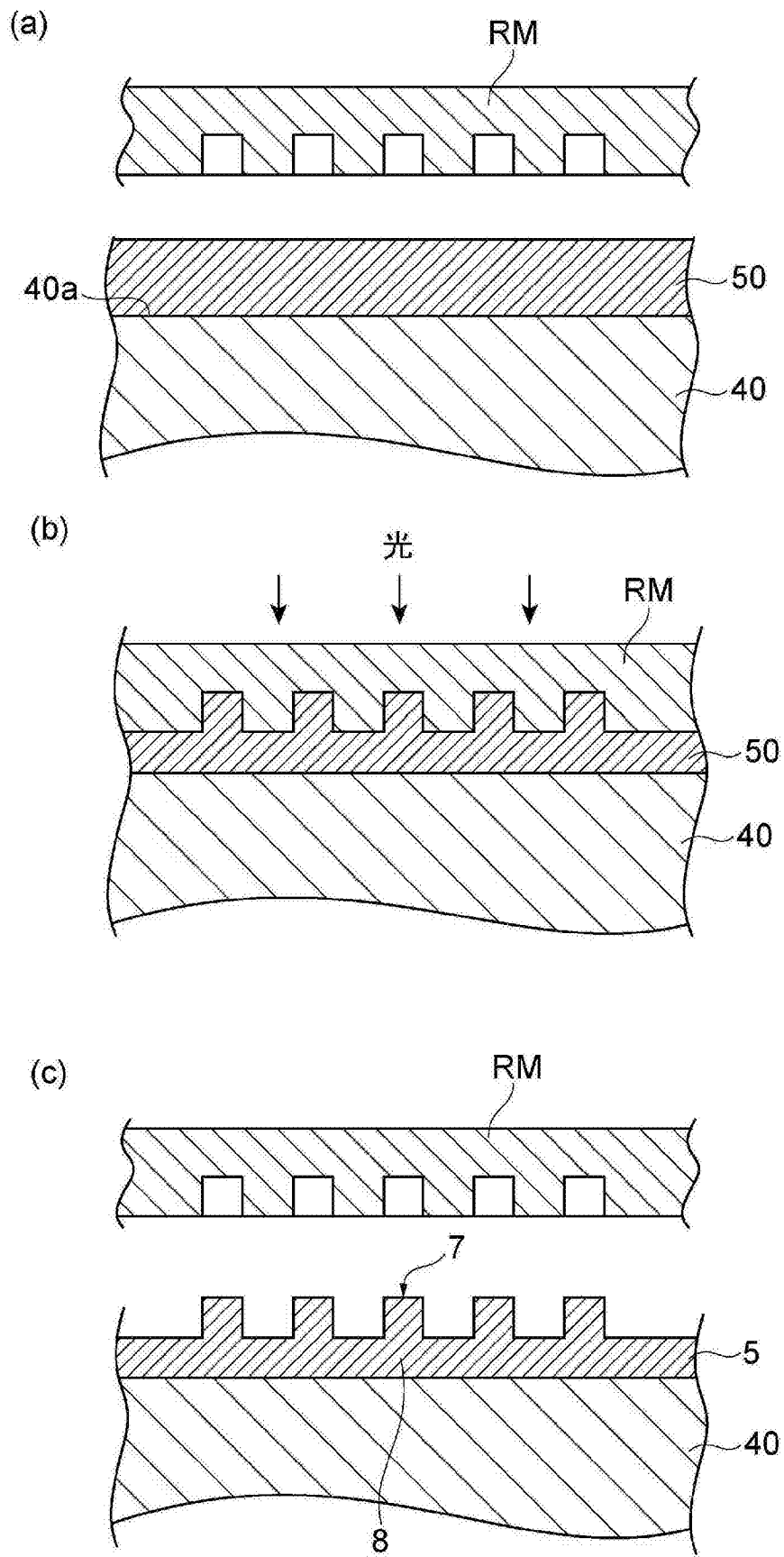


图7

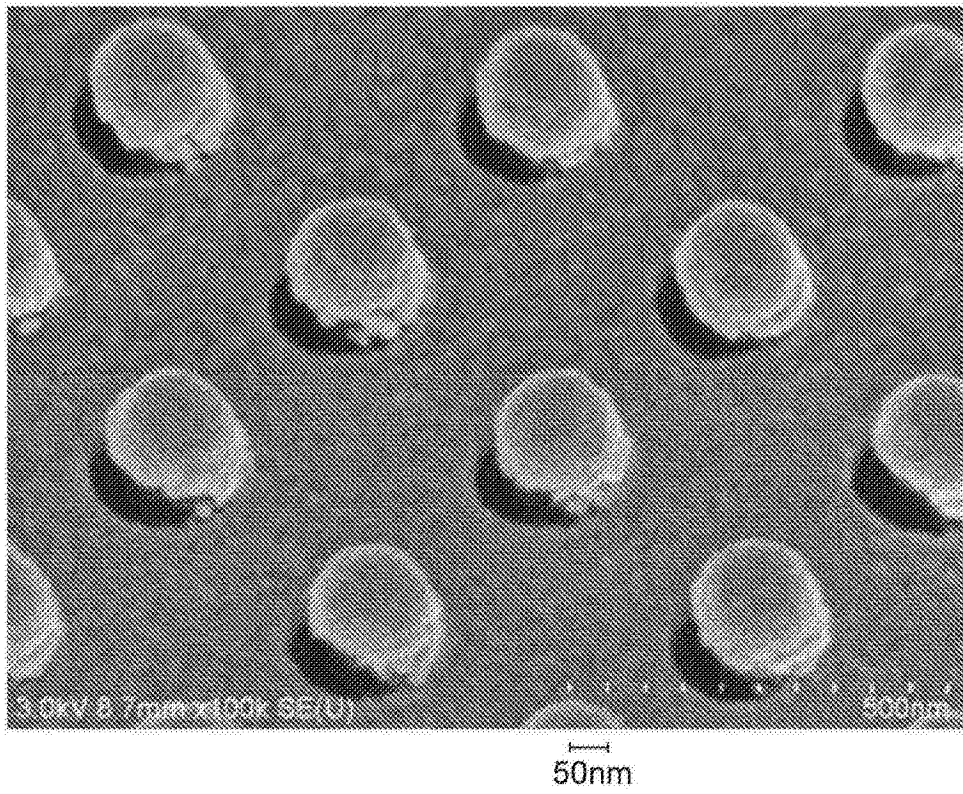
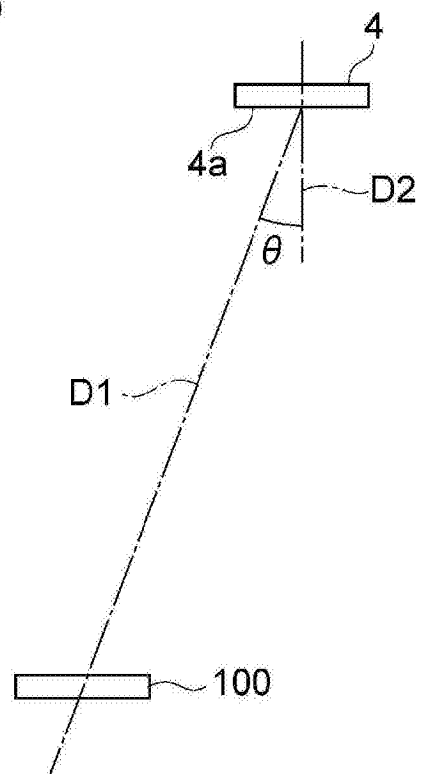


图8

(a)



(b)

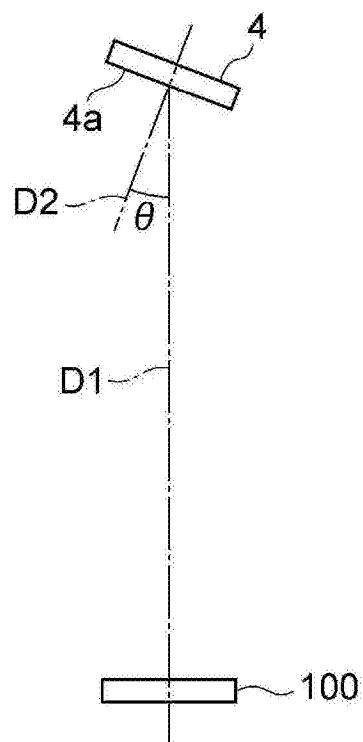


图9

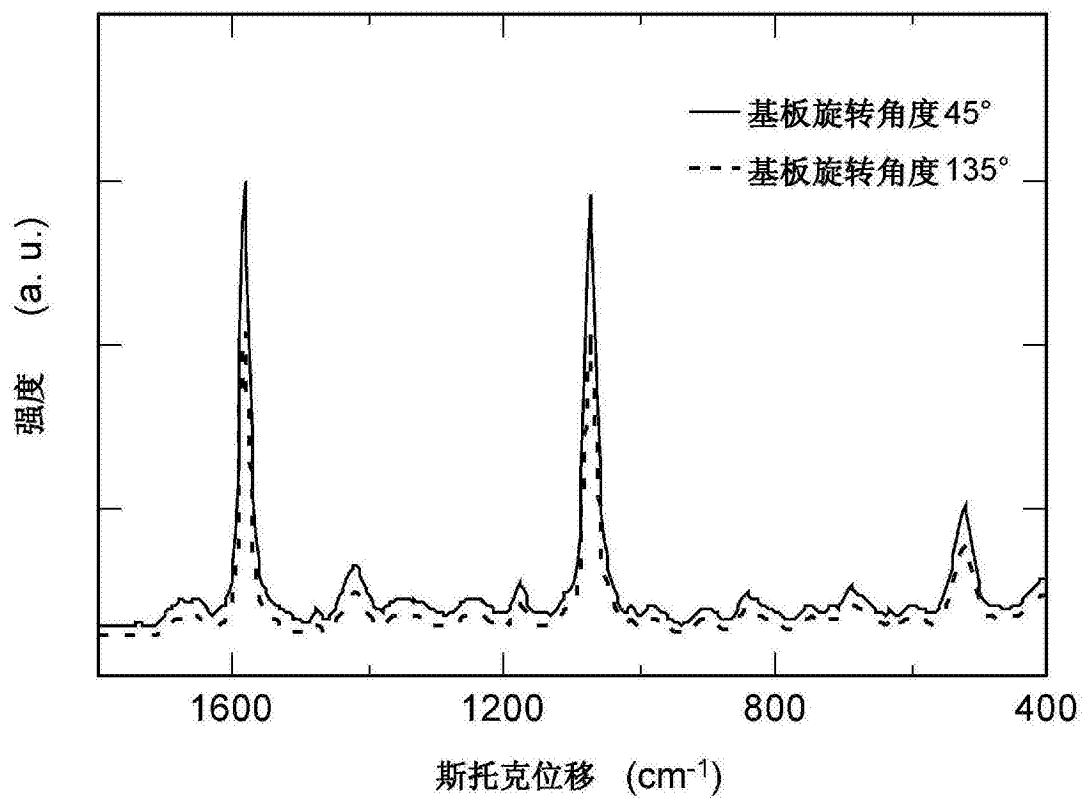


图10

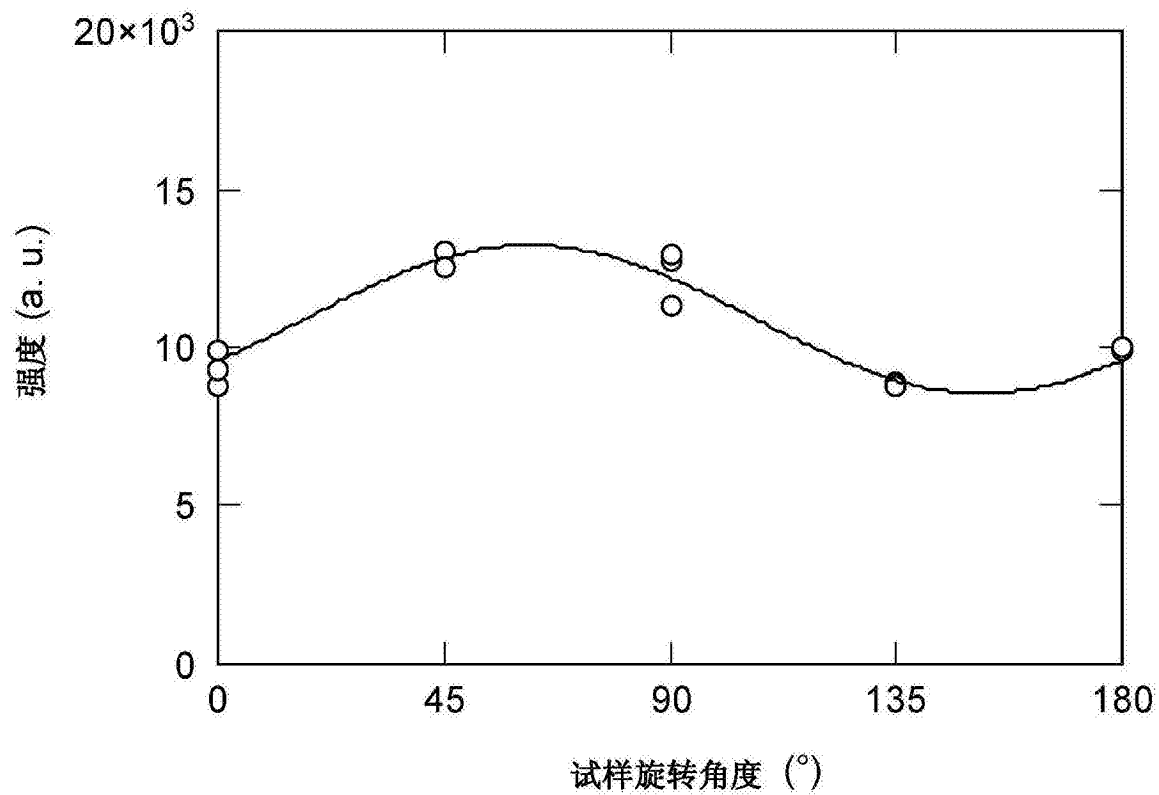


图11

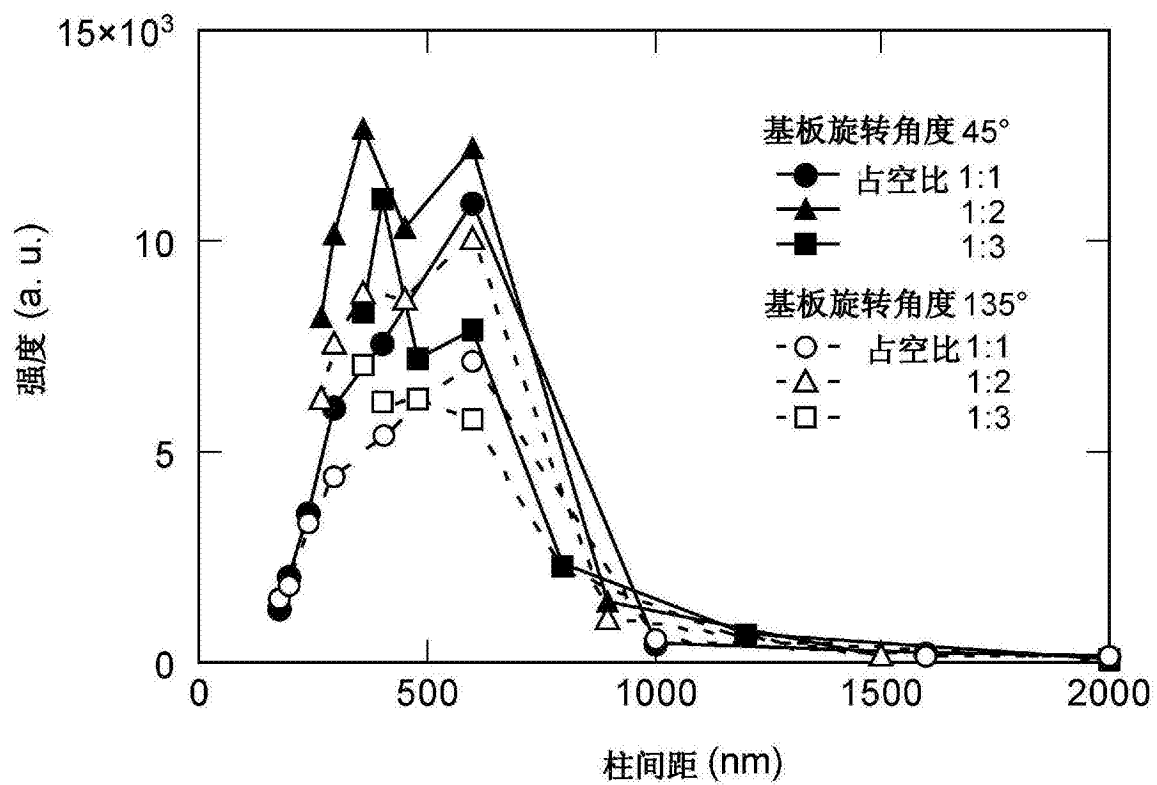


图12

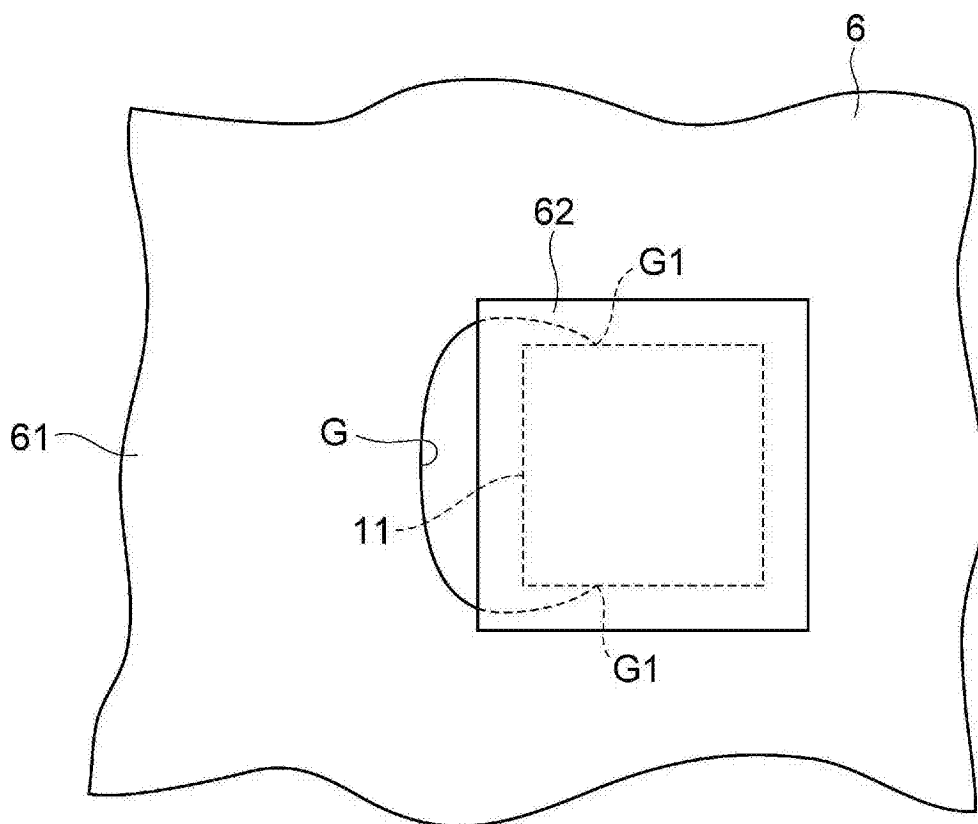


图13