

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/3205 (2006.01)

H01L 21/768 (2006.01)

H01L 23/52 (2006.01)

H01L 23/522 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780020627.1

[43] 公开日 2009 年 6 月 17 日

[11] 公开号 CN 101461043A

[22] 申请日 2007.6.6

[21] 申请号 200780020627.1

[30] 优先权

[32] 2006.6.23 [33] JP [31] 174429/2006

[86] 国际申请 PCT/JP2007/061450 2007.6.6

[87] 国际公布 WO2007/148535 日 2007.12.27

[85] 进入国家阶段日期 2008.12.3

[71] 申请人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 堀达正弘

[74] 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所

代理人 刘新宇 张会华

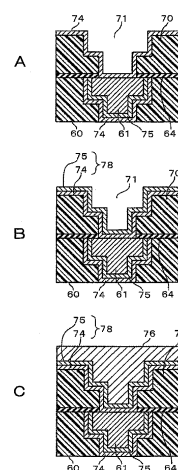
权利要求书 1 页 说明书 12 页 附图 8 页

[54] 发明名称

半导体装置及半导体装置的制造方法

[57] 摘要

本发明提供一种半导体装置，其包括：基板，形成于上述基板上的、由添加了氟的碳膜构成的绝缘膜，埋入到上述绝缘膜内的铜布线，及形成于上述绝缘膜与上述铜布线之间的阻挡膜。上述阻挡膜具有第 1 膜和第 2 膜；该第 1 膜由用于抑制氟扩散的钛构成；该第 2 膜形成于上述第 1 膜与上述铜布线之间，由用于抑制铜的扩散的钽构成。



1. 一种半导体装置，其特征在于：

包括：

基板，

形成于上述基板上的、由添加了氟的碳膜构成的绝缘膜，

埋入到上述绝缘膜内的铜布线，及

形成于上述绝缘膜与上述铜布线之间的阻挡膜；

上述阻挡膜具有第1膜和第2膜；

该第1膜由用于抑制氟扩散的钛构成；

该第2膜形成于上述第1膜与上述铜布线之间，由用于抑制铜扩散的钽构成。

2. 一种半导体装置的制造方法，其特征在于：

包括：

在基板上形成由添加了氟的碳膜构成的绝缘膜的工序，

在上述绝缘膜上形成凹部的工序，

在上述凹部内形成由钛构成的第1膜的工序，

在上述第1膜的表面上形成由钽构成的第2膜的工序，以及

在上述第2膜的表面上形成由铜构成的布线的工序。

半导体装置及半导体装置的制造方法

技术领域

本发明涉及一种将添加了氟的碳膜用作例如层间绝缘膜、在该绝缘膜内形成铜布线的半导体装置及半导体装置的制造方法。

背景技术

近年，为了实现半导体装置的高集成化，采用多层布线构造，但随着半导体装置的微细化和高集成化，通过布线的电信号的延迟（布线延迟）相对于器件的动作的高速化成为问题。该布线延迟与布线电阻和布线间的容量的积成比例。

为了缩短上述布线延迟，要求实现电极布线材料的低电阻化和对各层间进行绝缘的层间绝缘膜的低介电常数化。与此相应，作为布线材料，低电阻的铜（Cu）作为合适的材料被使用。

然而，已知铜为易扩散的元素，铜的扩散使层间绝缘膜中的绝缘性下降。因此，需要使用于防止铜扩散的阻挡膜介于铜布线与层间绝缘膜之间。

在日本特开2005-109138中，作为用于防止铜的扩散的阻挡膜，记载了钽（Ta）、氮化钽（TaN）等。

另一方面，作为层间绝缘膜，为了降低介电常数，包含硅、碳、氧及氢的膜（SiCOH膜）引人注目。另外，本案发明人研究了介电常数比SiCOH膜低、作为碳（C）和氟（F）的化合物的添加了氟的碳膜（碳氟化合物膜）的采用。

然而，添加了氟的碳膜具有由于加热使氟容易脱离的性质。

可是，半导体装置在作为器件完成后，为了使其内部的晶体缺陷稳定化，例如进行400℃左右的热处理。在使用添加了

氟的碳膜作为绝缘膜，而且使用钽膜作为用于抑制铜从铜布线向绝缘膜的扩散的阻挡膜的情况，由于热处理使氟从添加了氟的碳膜向钽膜中扩散，生成氟化钽（ TaF_5 ）。该氟化钽由于蒸气压高，在上述热处理中就发生蒸发。因此，钽膜的密度下降，对于铜的阻挡性能降低。另外，表皮（sheet）电阻增加，添加了氟的碳膜与钽膜的紧密接触性也变差。

因此，最好为薄膜，并且为防止铜和氟的扩散的那样的阻挡膜。

在日本特开2005-302811中记载有添加了氟的碳膜，但对上述问题及其解决方法未涉及。

发明内容

鉴于以上那样的问题，本发明的目的在于提供一种半导体装置及其制造方法，该半导体装置使用添加了氟的碳膜作为绝缘膜、例如层间绝缘膜，在该绝缘膜内形成铜布线；其中，可有效地抑制在绝缘膜与铜布线之间的氟和铜的扩散。

本发明的半导体装置的特征在于，包括：基板，成膜于上述基板上的、由添加了氟的碳膜构成的绝缘膜，埋入到上述绝缘膜内的铜布线，及形成于上述绝缘膜与上述铜布线之间的阻挡膜；上述阻挡膜具有第1膜和第2膜；该第1膜由用于抑制氟扩散的钛构成；该第2膜形成于上述第1膜与上述铜布线之间，由用于抑制铜扩散的钽构成。

按照该特征，可有效地抑制绝缘膜与铜布线之间的氟和铜的扩散，而且，也可有效地抑制阻挡膜的膜损耗。

另外，本发明的半导体装置的制造方法包括在基板上形成由添加了氟的碳膜构成的绝缘膜的工序，在上述绝缘膜上形成凹部的工序，在上述凹部内形成由钛构成的第1膜的工序，在

上述第1膜的表面上形成由钽构成的第2膜的工序，及在上述第2膜的表面上形成由铜构成的布线的工序。

按照该特征，可较容易地制造这样的半导体装置，该半导体装置可有效地抑制绝缘膜与铜布线之间的氟和铜的扩散，而且，也可有效地抑制阻挡膜的膜损耗。

附图说明

图1A～图1C为用于说明本发明的半导体装置的制造方法的一实施方式的半导体装置的剖视图。

图2A～图2C为用于接着图1C说明本发明半导体装置的制造方法的一实施方式的半导体装置的剖视图。

图3A和图3B为用于接着图2C说明本发明半导体装置的制造方法的一实施方式的半导体装置的剖视图。

图4为示出用于实施本发明的半导体装置的制造方法的制造装置的一例的概略纵剖视图。

图5为用于各实验的晶圆1～6的概略剖视图。

图6为示出实验3的晶圆3的结果的特性图。

图7为示出实验3的晶圆6的结果的特性图。

图8A为示出实验4的热处理前的结果的特性图。图8B为示出实验4的热处理后的结果的特性图。

具体实施方式

下面说明本发明的半导体装置的制造方法的一实施方式。在这里，说明为了制造多层布线构造而在基板上的绝缘膜内将第 $(n+1)$ 层的布线层形成于由金属例如铜构成的第 n （ n 为1以上的整数）层的布线层上的情况。

图1A示出基板例如半导体晶圆（以下称晶圆）W的概略剖

视图，该基板在作为绝缘膜的添加了氟的碳膜（以下称为“CF膜”）60内形成作为第n层的布线层的Cu布线61。在该情况下，在第n层的电路层的表面上形成由绝缘膜例如SiN膜构成的阻挡膜64，以阻止铜从该第n层的Cu布线61扩散到下一层即第(n+1)层的层间绝缘膜（CF膜70）。

在本实施方式中，如后所述，包含碳和氟的化合物的成膜气体例如C₅F₈气体被等离子体化，载置有晶圆W的气氛为等离子体气氛。这样，由C₅F₈气体生成的活性晶种堆积在晶圆W的表面上，如图1B所示，由CF膜70构成的层间绝缘膜例如以200nm的膜厚成膜。

下面，如图1C所示，在该CF膜70上通过使用以往的手法例如使用光致蚀刻掩模、硬模等的干蚀刻形成由镶嵌构造的沟槽和导通孔构成的凹部71。在这里，省略这些工序的详细的说明。

之后，如图2A所示，在晶圆W的表面整体，例如通过溅镀形成Ti膜74，该Ti膜74作为构成阻挡膜78的一部分的第1膜。在该溅镀工序中，将例如Ar等离子体打到Ti靶材上，从而使钛微粒从该Ti靶材生成并分离，堆积到晶圆W的表面（CF膜70的露出面和Cu布线61的表面），由此形成Ti膜74。如后所述，该Ti膜74为具有抑制CF膜70内的氟向Ti膜74的上层侧扩散的阻挡功能的膜，例如膜厚为3~10nm左右，可获得足够的阻挡功能。

接着，如图2B所示，在Ti膜74的表面形成作为第2膜的Ta膜75。该Ta膜75与上述Ti膜74同样地使用溅镀装置成膜。优选其膜厚为5~10nm左右。如后所述，该Ta膜75为具有抑制与该Ta膜75相接触的Cu布线76内的铜向Ti膜74侧扩散的阻挡功能的膜。如上所述，形成由Ti膜74和Ta膜75构成的阻挡膜78。

之后，如图2C所示，埋入Cu布线76。该Cu布线76例如也可使用含有铜的有机材料气化而成的气体利用CVD法而形成。或者，也可利用无电解电镀法而形成铜的籽晶层，将其用作电极进行电解电镀。

接着，形成于CF膜70上表面的Ti膜74、Ta膜75及Cu布线76例如由被称为CMP（化学机械抛光）的研磨除去，形成第（n+1）层的Cu布线76（参照图3A）。然后，与上述图1A同样地在晶圆W的表面形成由绝缘膜例如SiN膜构成的阻挡膜64（参照图3B）。

以后，通过反复进行以上的图1B～图3B的工序，形成预定层数的电路。在完成所期望的半导体装置（多层布线构造）的制造后，为了终止该半导体装置内的晶体的缺陷，使物性稳定，例如进行400℃的热处理。

在以上的实施方式中，说明例如第（n+1）层的布线构造时，在CF膜70与Cu布线76之间，作为第1膜的Ti膜74和作为第2膜的Ta膜75从CF膜70侧按该顺序层叠，形成阻挡膜78。为此，从后述的实验结果可知，即使受到例如在半导体装置的制造工序结束后进行的退火处理等热处理，氟从CF膜70向Ta膜75、Cu布线76的扩散也被抑制，并且，铜从Cu布线76向Ti膜74、CF膜70的扩散被抑制。因此，抑制了氟与钽和铜通过热处理发生反应，从后述的实验结果可知，可抑制由于氟与钽和铜的反应所导致的表皮电阻的增加。由此，可抑制半导体装置的电特性的恶化。另外，Ti膜74和Ta膜75在400℃左右下不发生化学反应，所以，不形成合金（不相互混合）。为此，在受到热处理后，也可继续保持上述阻挡性能。

另外，Ti膜74和Ta膜75分别大致薄到10nm以下。即，可将阻挡膜78整体的膜厚抑制到20nm以下。为此，也不必担心

有碍于半导体装置的薄层化。

下面,参照图4简单地说明对形成CF膜70较好的成膜装置。如图4所示,成膜装置10具有作为真空室的处理容器11、具有温度调节装置的载置台12、及连接到该载置台12上的例如13.56MHz的偏压用的高频电源13。

在处理容器11的上部,与载置台12相对地设置大致圆形的例如由氧化铝构成的第1气体供给部14。在该第1气体供给部14中的与载置台12相对的面上形成有多个第1气体供给孔15。第1气体供给孔15通过气体流路16和第1气体供给路径17连接到等离子体发生用的气体供给源、例如氩(Ar)气等的稀有气体供给源。

另外,在载置台12与第1气体供给部14之间,设有例如由大致圆形的导电体构成的第2气体供给部18。在该第2气体供给部18的与载置台12相对的面上形成有多个第2气体供给孔19。在第2气体供给部18的内部形成有与第2气体供给孔19连通的气体流路20,该气体流路20通过第2气体供给路径21连接到C₅F₈气体等的原料气体供给源。

另外,在第2气体供给部18上沿上下贯通该第2气体供给部18地形成有多个开口部22。该开口部22在第2气体供给部18内不与第2气体供给孔19连通,为了使在第2气体供给部18的上方生成的等离子体通过到第2气体供给部18的下方侧的空间而设置。例如,开口部22形成于相邻的2个第2气体供给孔19之间。

另外,在处理容器11的下端设有围着载置台12的那样的环状开口,真空排气装置27通过排气管26与该开口连接。

另外,在第1气体供给部14的上方,通过例如由氧化铝等电介质构成的盖板28设置有天线部30。该天线部30具有圆形的天线主体31、埋设于该天线主体31下端的平面天线构件(狭缝

板) 32。在平面天线构件32上形成有用于发生圆偏振波的多个狭缝(未图示)。这些天线主体31和平面天线构件32由导体构成, 构成扁平的空心圆形波导管。

另外, 在天线主体31与平面天线构件32之间, 设有例如由氧化铝、氧化硅、氮化硅等低损耗电介质材料构成的滞相板33。该滞相板33用于缩短微波的波长, 缩短上述圆形波导管内的管内波长。

以上那样构成的天线部30通过同轴导波管35连接于例如发生2.45GHz或8.4GHz的频率的微波的微波发生装置34。另外, 同轴导波管35外侧的波导管35A连接于天线主体31, 同轴导波管35的中心导体35B通过形成于滞相板33的开口部连接于平面天线构件32。

下面, 对使用上述成膜装置10的CF膜70的成膜方法进行说明。首先, 晶圆W被搬入到处理容器11内, 载置到载置台12上。然后, 使用真空排气装置27对处理容器11内排气, 将例如Ar气和C₅F₈气体分别按预定的流量供给到处理容器11内。然后, 将处理容器11内设定为预定的工艺压力, 由设于载置台12的温度调节装置加热晶圆W。

另一方面, 频率为2.45GHz的高频波(微波)从微波发生装置34通过盖板28和第1气体供给部14, 再通过形成于平面天线构件32的未图示的狭缝, 朝下方侧的处理空间放射。

利用该微波, 在第1气体供给部14与第2气体供给部18之间的空间激励高密度且均匀的Ar气的等离子体。另一方面, 从第2气体供给部18向载置台12放出的C₅F₈气体与通过开口部22从上方侧流入的Ar气的等离子体接触, 生成活性晶种。该活性晶种堆积到晶圆W的表面上, 在阻挡膜64上形成CF膜70。

作为成为添加了氟的碳膜的原料的气体, 不限于C₅F₈气

体,也可使用 CF_4 气体、 C_2F_6 气体、 C_3F_8 气体、 C_3F_9 气体或 C_4F_8 气体等。

为了形成Ti膜74,如已说明的那样,可使用公知的各种溅镀装置。溅镀装置一般具有作为用于通过放电进行钛的溅镀的金属源的Ti板,通过使从该Ti板发生的钛微粒堆积而形成Ti膜74。

钛微粒的活性非常高。为此,在堆积到CF膜70的表面上面的情况下,与CF膜70中的元素(碳和氟)反应,生成碳化钛和四氟化钛。四氟化钛(TiF_4)与已经说明的氟化钽同样,蒸气压高。为此,当进行四氟化钛的生成时,导致Ti膜74的密度下降、表皮电阻上升。另一方面,碳化钛蒸气压低,稳定。上述的反应由热处理、例如已说明的半导体装置的制造完成后的退火处理等进行。然而,在后述的实验结果中可知,碳化钛选择性地生成,四氟化钛的生成受到抑制,从而可抑制Ti膜74的密度下降、表面电阻的上升。这样,本实施方式的Ti膜74对于氟可具有高阻挡性。

Ti膜74不一定限于通过溅镀形成的膜,也可使用其它成膜方法例如上述成膜装置10等成膜。

接着Ti膜74的成膜,进行Ta膜75的成膜。为了形成Ta膜75,与上述Ti膜74同样,可使用公知的各种溅镀装置。

本发明的半导体装置的制造方法不限于镶嵌法,也可适用于先形成Cu布线76,然后围着Cu布线76形成CF膜70的方法。

实验的说明

关于对于铜和氟的阻挡膜的效果,为了确认哪种元素最佳,进行了以下的实验。

用于实验的No.1~No.6的晶圆(以下称为晶圆1~6)的概略截面示于图5。这些晶圆1~6的共同点为使用上述成膜装置

10将膜厚150nm的CF膜82形成于作为实验用的裸硅晶圆的Si基板81上，但对各晶圆在CF膜82上形成以下的表1所示的阻挡膜。

表1

晶圆 No.	1	2	3	4	5	6
元素种类	Ta	Ta	Ni	Ta	Ti	Ta
		TaN		Ni		Ti
膜厚 (nm)	8	8	6	8	13	8
		8		6		3

在表1所示的各元素种类的成膜中，使用已经说明的溅镀装置。关于其成膜条件的详细内容在此省略说明。另外，在表1中，关于形成2种膜的情况（晶圆2、4及6），将Ta膜84层叠于上侧。

另外，在以下的各实验中，对晶圆1~6进行热处理。其条件如下。

（热处理条件）

热处理温度：400℃

热处理时间：15分钟

压力 ：266.7Pa（2000mTorr）

气氛 ：Ar=500sccm

实验1：由热处理导致的表皮电阻的变化

相对于图5所示的各晶圆1~6，由已说明的方法将Cu膜87（未图示）形成于最上层的金属（Ta、Ni、Ti等）上。

之后，按上述条件，对各晶圆1~6实施热处理。然后，将各晶圆1~6取出到大气中，分别测定表皮电阻。结果示于表2。

表2

晶圆 No.	1	2	3	4	5	6
热处理前	47.7	122.9	89.1	47.2	170.4	37.1
热处理后	300.1	150.8	80.0	44.3	362.2	48.9

从表2可知，晶圆1和晶圆5的表皮电阻由于热处理而大幅度增加，不理想。

关于晶圆1，从与晶圆2的比较可知，Ta膜84与CF膜82直接接触是不佳的。在晶圆1的情况认为，由于热处理使氟从CF膜82向Ta膜84扩散，生成蒸气压高的氟化钽，该氟化钽蒸发使得表皮电阻增加。

关于晶圆5，从与晶圆6的比较可知，Ti膜83与Cu膜87直接接触是不佳的。在晶圆5的情况认为，由于热处理使Cu扩散到Ti膜中，进而与CF膜82的氟反应，生成表皮电阻高的化合物。

实验2：由热处理导致的X射线强度的变化

相对于晶圆2、3、4及6，与实验1同样地形成Cu膜87。

之后，按上述的条件对各晶圆实施热处理。然后，由荧光X射线分析（XRF: X-ray Fluorescence Analysis）测定各金属的X射线强度，求出热处理前后的各金属膜中的金属原子数之比。其结果示于表3中。

表3

晶圆 No.	2	3	4	6
Ta	0.93		0.95	1.0
Ni		0.99	1.0	
Ti				1.0

从表3可知，晶圆2和晶圆4的Ta的原子数由于热处理而减少，不理想。

晶圆2的Ta_N膜86、晶圆4的Ni膜85仅使很少量的来自CF

膜82的氟透过。因此，认为在Ta膜84中生成氟化钽，氟化钽蒸发掉。另外，由透射电镜（TEM: Transmission Electron Microscope）测定的结果可知，堆积到Si基板81上的膜的整体膜厚未变化。这样，所谓的膜损耗不发生，仅是膜中的元素跑掉。

实验3: 元素分析

下面，相对于晶圆3和晶圆6，在最上层的金属上由已说明的方法形成Cu膜87（未图示）。

之后，在上述条件下对各晶圆实施热处理。然后，使用二次离子质量分析装置（SIMS: Secondary Ion Mass Spectroscopy），测定深度方向的各元素（Cu、Ta、Ni、F）的量。热处理前后的晶圆3的元素分析的结果示于图6。同样，热处理前后的晶圆6的元素分析的结果示于图7。

考察图6可以看出，在热处理前看到的Cu、Ni的峰值在热处理后消失。认为这两金属由于热处理而合金化。另外，还认为氟扩散到合金化了的金属。从以上可知，Ni对Cu、F两元素没有足够的阻挡性。

另一方面，考察图7可以看出，晶圆6的各元素的二次离子强度在深度方向上在热处理前后基本不改变。即，未发生F的扩散，晶圆6的阻挡膜最适合作为阻挡膜。

实验4: 结合能

下面，对在以上各实验中显示出良好的结果的晶圆6进行以下的实验，以考察晶圆6中的Ti膜83情况如何。在本实验中，使用X射线电子分光法（XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy），在热处理前后测定Ti膜83的上层（Ta膜84附近）与Ti膜83的下层（CF膜82附近）的钛化合物结合能。而且，该实验在未形成Cu膜87的状态下进行。

热处理前的实验结果示于图8A中，热处理后的实验结果示于图8B中。如图8A所示，在热处理前的Ti膜83的下层确认到归属于碳化钛和氟氧化钛（TiOF）的峰值。这认为是如上述那样，形成Ti膜83时钛的表面活性化，与CF膜82中的元素（碳和氟）发生反应所致。另一方面，如图8B所示，在热处理后，碳化钛的峰值强度增加，但氟氧化钛的峰值强度未发现变化。因此，认为在Ti膜83的下层，由于热处理使得选择性地生成碳化钛。

另外，在Ti膜83的上层，在热处理的前后，氟氧化钛的峰值强度未发生变化。由此可知，CF膜82中的氟在Ti膜83形成时在Ti膜83的厚度方向扩散到整体，但未进行热处理导致的扩散。即，Ti膜83作为对氟的阻挡膜有效地起作用。另外，Ti膜83的上层的Ti的峰值强度由于热处理而减少。这认为是因为在Ti膜83的下层选择性地生成的碳化钛而使得上层钛供给到下层。

另外，与CF膜82接触的Ti膜83例如与晶圆1的Ta膜84形成蒸气压高的氟化钽同样，可推测形成蒸气压高的四氟化钛。然而，实际上，在CF膜82与Ti膜83的界面附近选择性地形成碳化钛。即，尽管Ti、Ta都为高熔点金属这样的通用性高的金属，但Ta膜对氟未表现出足够的阻挡性，Ti膜对氟表现出良好的阻挡性。

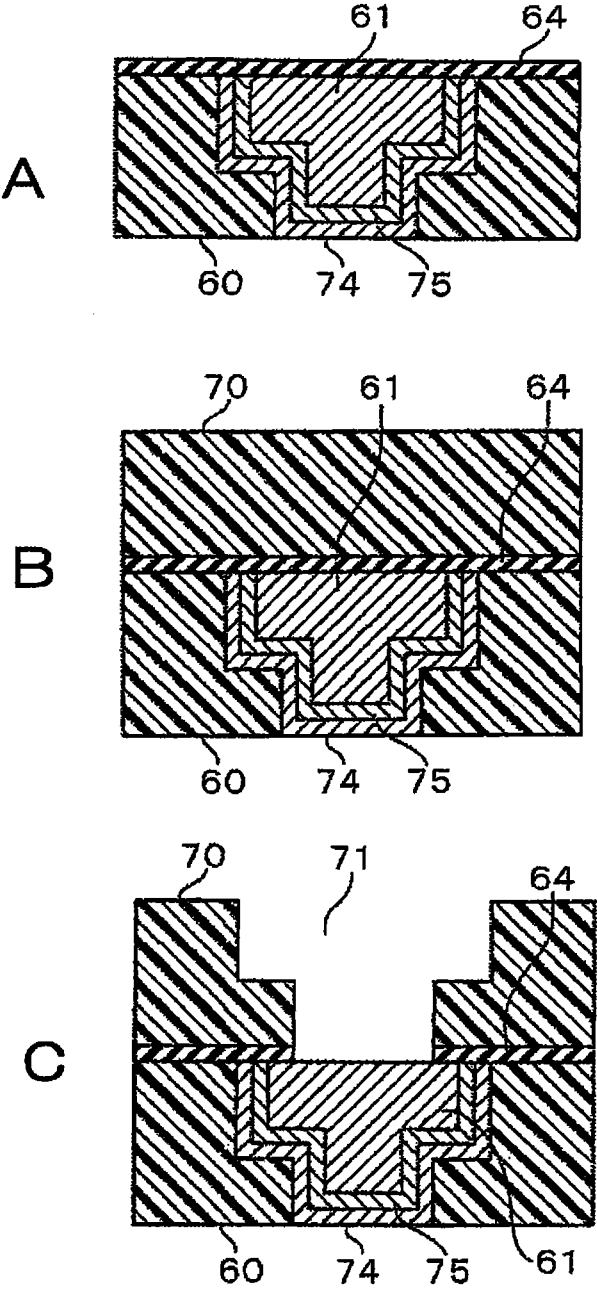


图 1

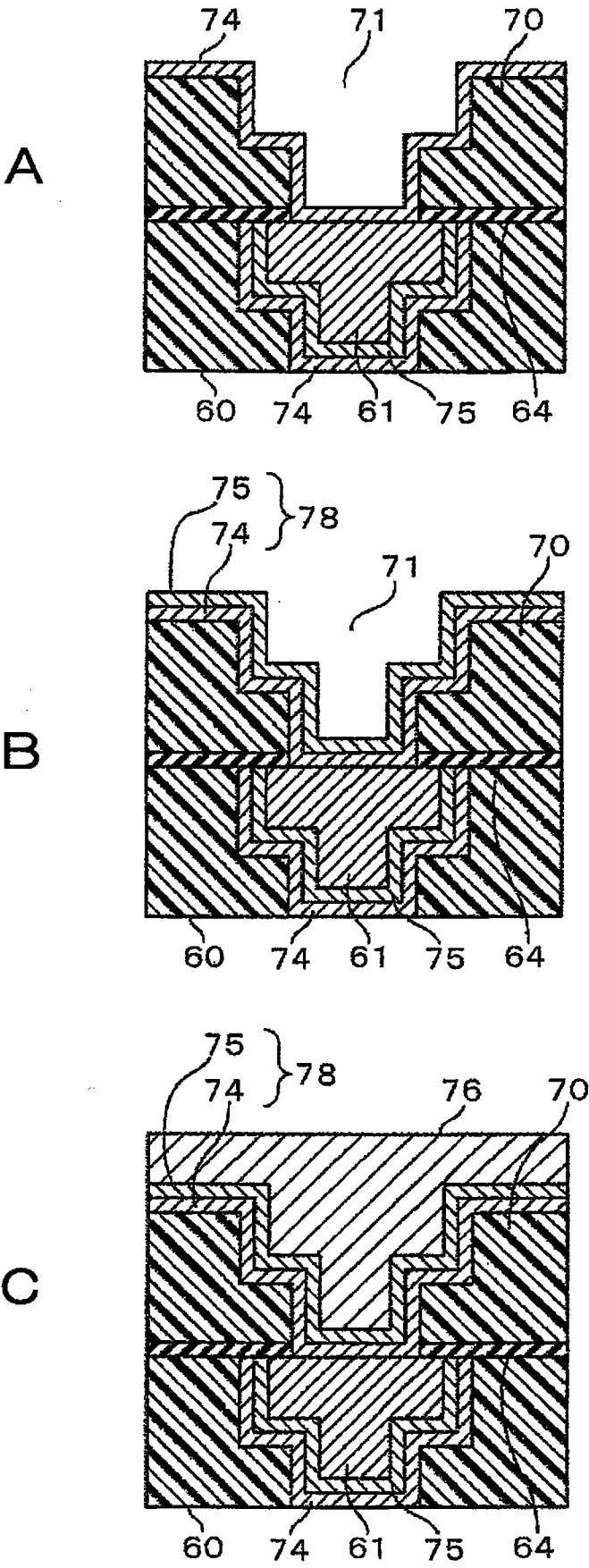
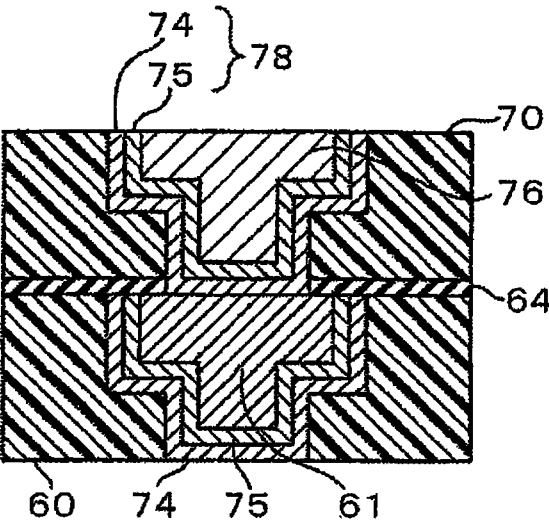
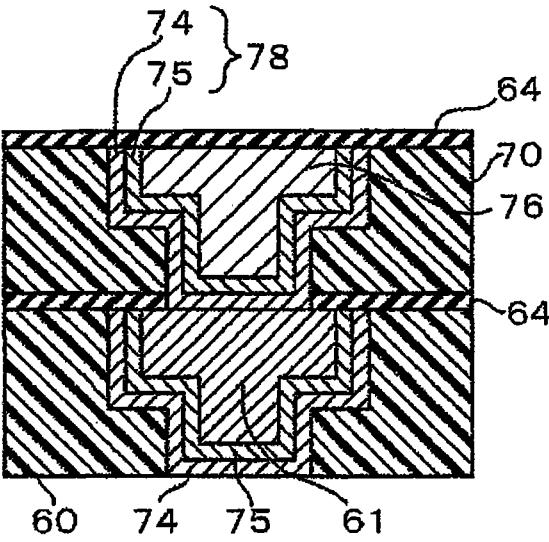


图 2



A



B

图 3

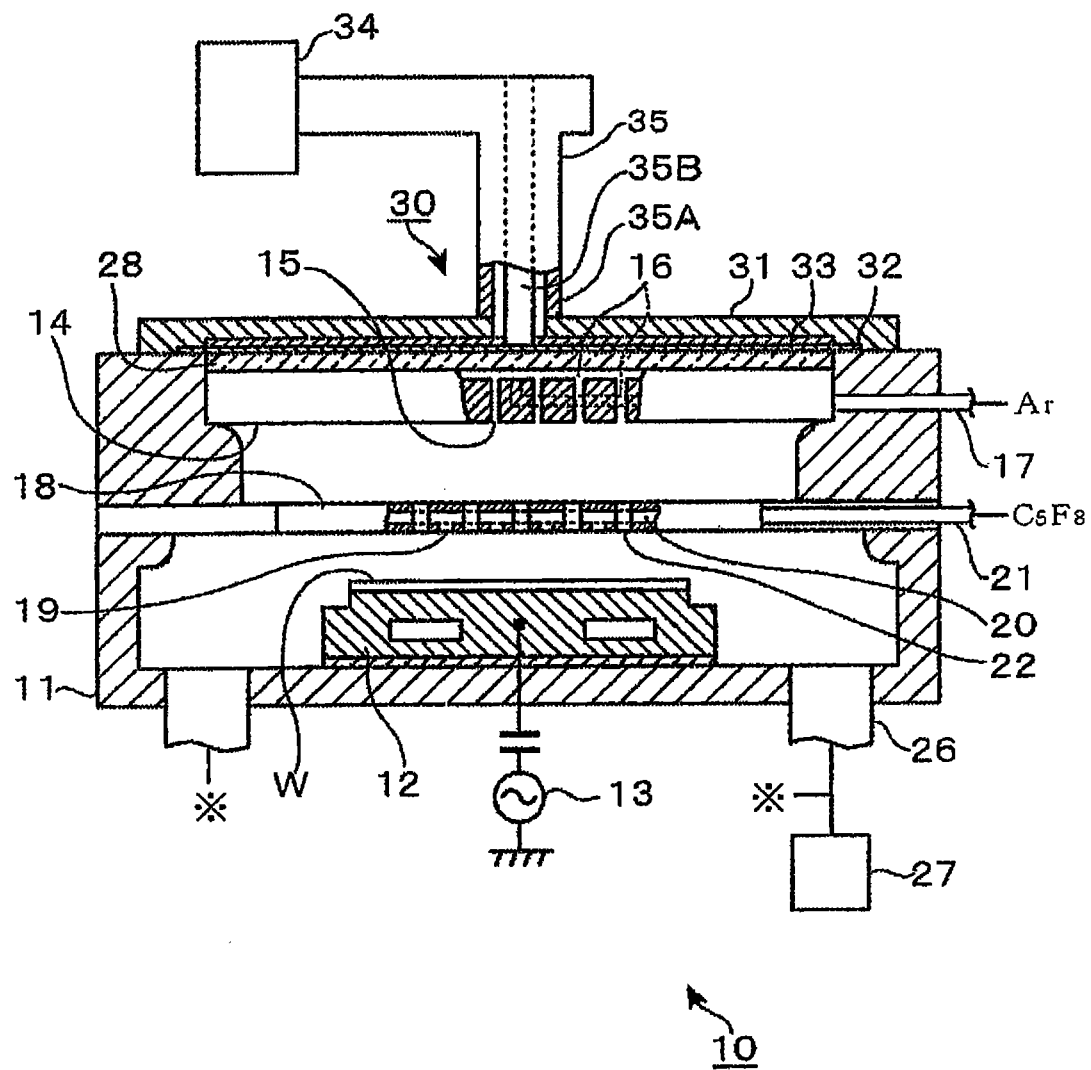


图 4

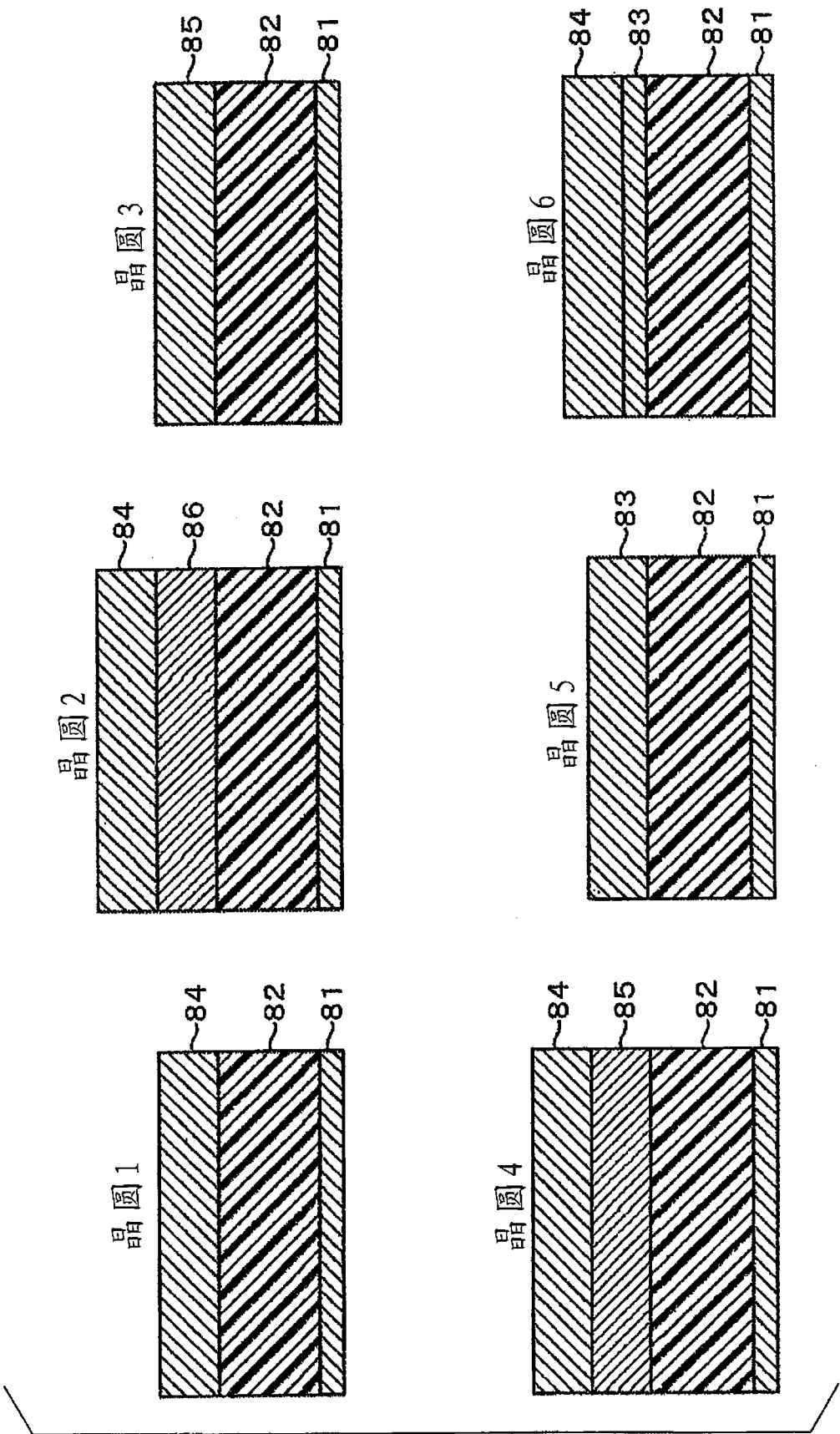


图 5

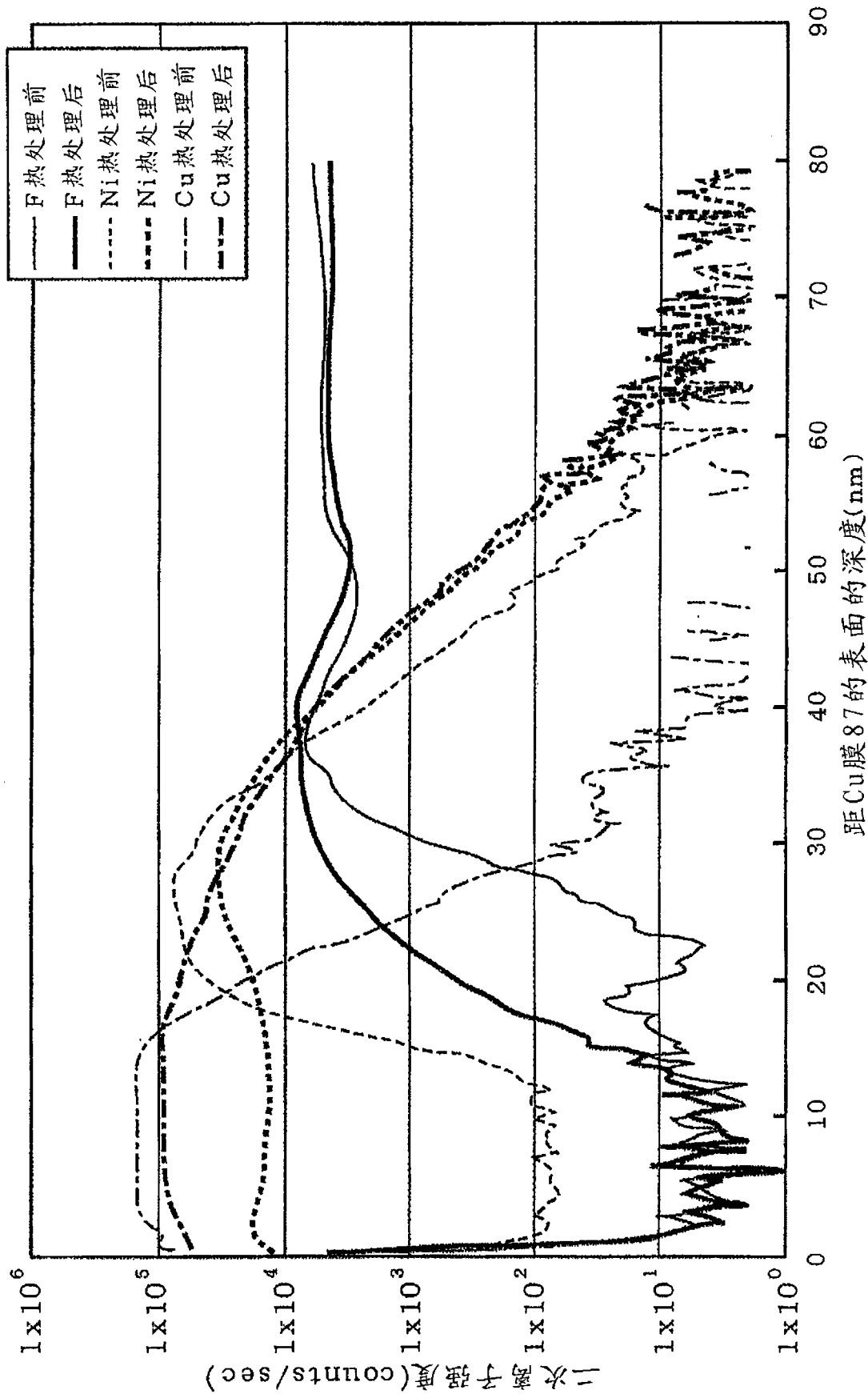


图 6

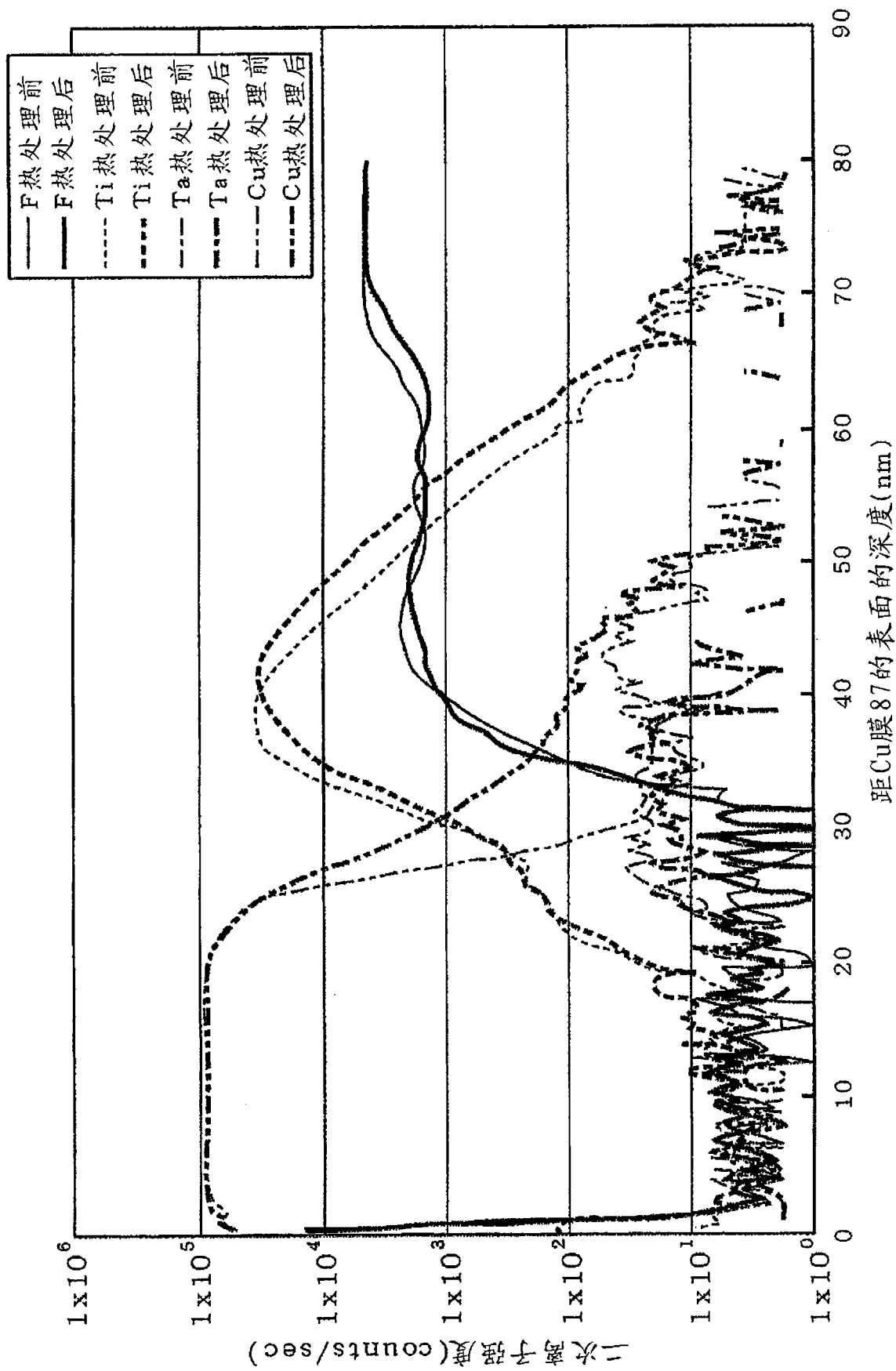
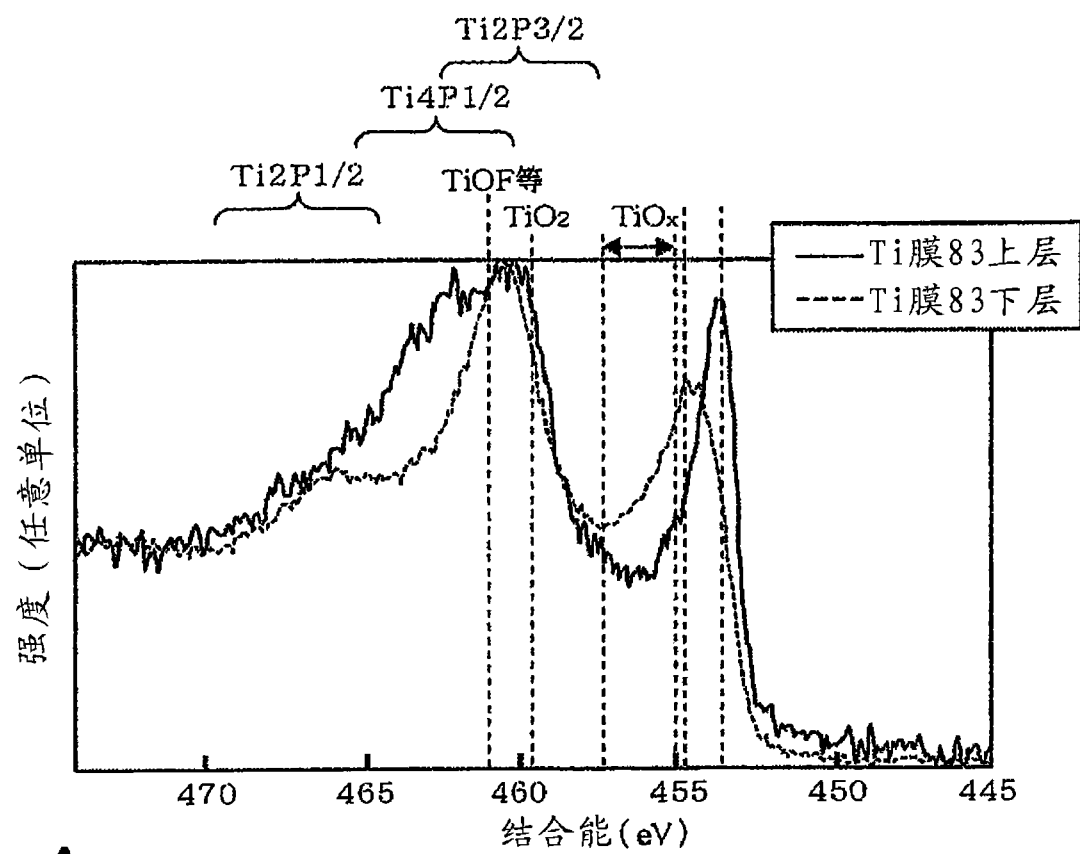
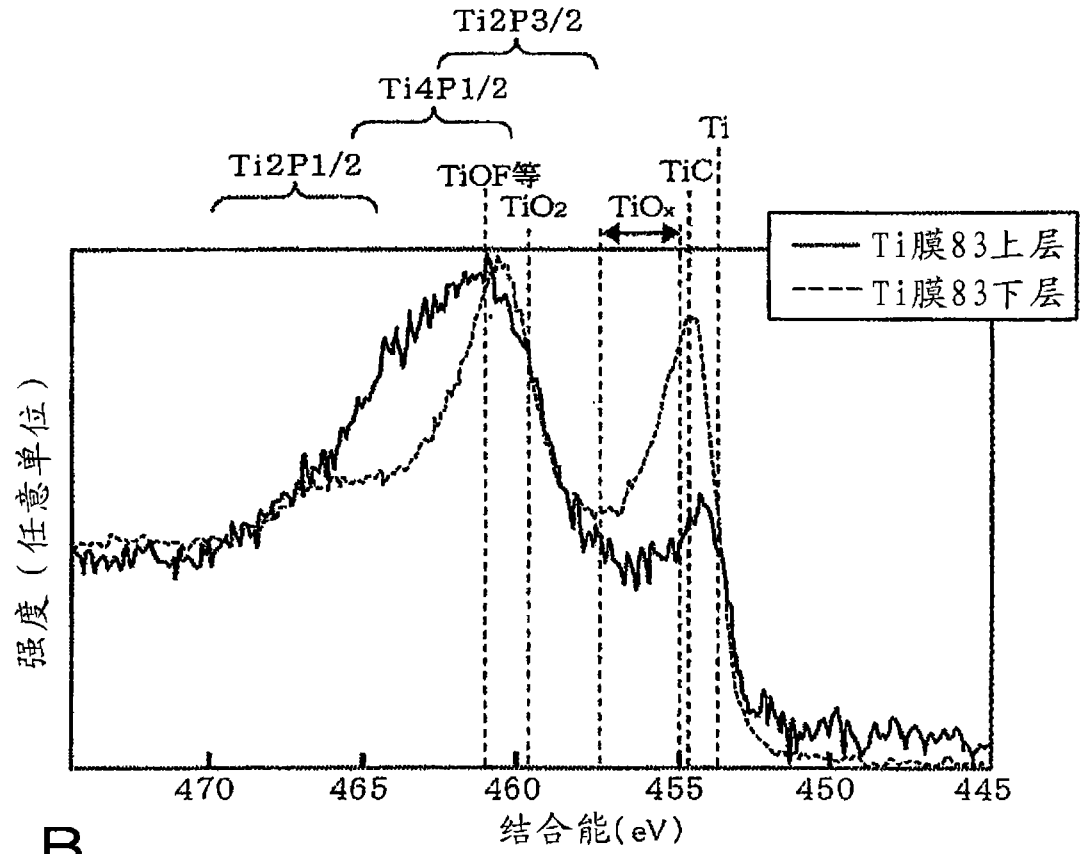


图 7



A



B

图 8