



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102498552 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201080041583. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 05. 14

H01L 21/324 (2006. 01)

H01L 21/20 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/243, 118 2009. 09. 16 US

12/764, 723 2010. 04. 21 US

(56) 对比文件

US 2008194083 A1, 2008. 08. 14,

US 2008194083 A1, 2008. 08. 14,

US 2007170433 A1, 2007. 07. 26,

US 2009104759 A1, 2009. 04. 23,

US 2009120924 A1, 2009. 05. 14,

US 2005277235 A1, 2005. 12. 15,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 03. 16

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/035013 2010. 05. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/034641 EN 2011. 03. 24

审查员 林昭春

(73) 专利权人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 斯蒂芬·莫法特 阿伦·缪尔·亨特

布鲁斯·E·亚当斯

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理

有限公司 11006

代理人 徐金国

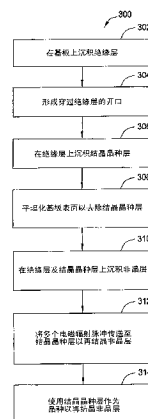
权利要求书1页 说明书13页 附图9页

(54) 发明名称

使用脉冲序列退火方法将薄膜固相再结晶的方法

(57) 摘要

本发明实施例提供使用多个电磁能量脉冲将薄膜固相再结晶的方法。在一个实施例中,可使用本发明方法通过将多个能量脉冲传递至结晶晶种区域或层来退火整个基板表面或基板表面的选择区域以再结晶非晶层,其中在结晶晶种区域或层上沉积有所述非晶层,使得所述非晶层具有如下方结晶晶种区域或层的相同晶粒结构及晶体定向。



1. 一种在基板上外延生长结晶层的方法,所述方法包含:

在所述基板上沉积第一绝缘层;

在所述第一绝缘层中形成第一晶种区域,所述第一晶种区域具有呈结晶态的第一材料;

在所述第一绝缘层的至少一部分和所述第一晶种区域上沉积呈非晶态的第一材料的第一层;

在第一材料的所述第一层上沉积第二绝缘层;

在所述第二绝缘层中形成第二晶种区域,所述第二晶种区域具有呈结晶态的第一材料;

在所述第二绝缘层的至少一部分和所述第二晶种区域上沉积呈非晶态的第一材料的第二层;

使用该第一晶种区域作为一晶种,朝向所述第一晶种区域的表面引导多个第一电磁能量脉冲维持一段足以再结晶及转化第一材料的所述第一层的时间,其中所述第一晶种区域的所述表面上沉积有第一材料的所述第一层,以使第一材料的所述第一层自非晶态转为结晶态并具有如下方所述第一晶种区域的相同晶粒结构及晶体定向;以及

使用该第二晶种区域作为一晶种,朝向所述第二晶种区域的表面引导具有不同于所述第一电磁能量的波长及脉冲数量的第二电磁能量维持一段足以再结晶及转化第一材料的所述第二层的时间,其中所述第二晶种区域的所述表面上沉积有第一材料的所述第二层,以使第一材料的所述第二层自非晶态转为结晶态并具有如下方所述第二晶种区域的相同晶粒结构及晶体定向。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一材料包含选自由以下物质所构成的组的掺杂或未掺杂半导体材料或化合物:硅、锗、 $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ 合金、III-V 族或 II-VI 族半导体化合物、II-VI 族或 III-V 族的二元化合物、II-VI 族或 III-V 族的三元化合物、II-VI 族或 III-V 族的四元化合物,或上述物质的混合物或上述物质的组合物。

3. 如权利要求2所述的方法,其中所述第一材料还包含磁性介质,所述磁性介质选自由以下物质所构成的组:铁、钴、镍及上述金属的合金。

4. 如权利要求1所述的方法,其中所述第二层包含不同于第一材料的所述第一层的半导体材料或化合物。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述晶种区域是呈层状、柱状、点状或其他预定形状的形式,并且所述晶种区域具有介于约50 Å至约1,000 Å之间的厚度。

6. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一晶种区域及所述第二晶种区域分别包含遍布所述第一绝缘层和所述第二绝缘层或在所述第一绝缘层和所述第二绝缘层的边缘处布置的许多晶种区域。

使用脉冲序列退火方法将薄膜固相再结晶的方法

[0001] 发明背景

发明领域

[0002] 本发明的实施例一般涉及制造半导体器件的方法。更具体地说,本发明涉及热处理基板的方法。

[0003] 相关技术的描述

[0004] 集成电路(IC)市场持续地需要更大的存储容量、更快的切换速度以及更小的特征结构尺寸。工业上主要采用的步骤之一是在大熔炉中批式处理硅晶片改成在小腔室中单一晶片处理以符合这些需求。在这种单一晶片处理期间,晶片通常被加热至高温使得可在限定于晶片中的多个 IC 器件中产生多种化学及物理反应。

[0005] 可相对于块体半导体基板(诸如,硅晶片)和绝缘层上覆硅(SOI)基板中之一或二者来制造集成电路。形成 SOI 基板的一种方法包括在绝缘体上外延生长单晶硅。外延硅单晶晶片由于绝佳的特性而已被广泛地使用来作为制造分立的半导体、双极 IC 等的晶片。外延硅单晶晶片由于绝佳的软性误差(soft error)和锁定(latch up)特性,也广泛地被使用在微处理器单元或闪存器件中。不幸地,外延生长的硅倾向形成结晶缺陷(诸如错位和层叠缺失),而可能在所得制造的器件中或器件之间导致不希望的漏电。此外,外延生长技术因为需要在基板与覆层之间具有紧密的晶格匹配而具有非常缓慢的生长速率,因而大大地减少了产量并造成较高的运作花费。

[0006] 因此,需要有一种可有效地在基板上形成高质量单晶层的改良方法。

发明内容

[0007] 本发明实施例可提供使用一种使用一系列序列能量脉冲的电磁能量将薄膜固相再结晶的方法。明确地说,本发明实施例提供一种将沉积在基板上的层相转变的方法,包含以下步骤:在所述基板上沉积绝缘层;在所述绝缘层的期望区中形成一晶种区域,所述晶种区域具有呈第一相结构的第一材料;在所述晶种区域及所述绝缘层的至少一部分上沉积具有第二相的第一材料层;以及使用所述晶种区域作为晶种,朝向所述晶种区域的表面引导多个电磁能量脉冲维持一段足以再结晶及转化所述第一材料层的时间,其中所述晶种区域的所述表面上沉积有所述第一材料层,以使所述第一材料层自所述第二相结构转为所述第一相结构并具有如下方所述晶种区域的相同晶粒结构及晶体定向。

[0008] 本发明实施例也提供一种在基板上外延生长结晶层的方法,所述方法包含以下步骤:在所述基板上沉积第一绝缘层;在所述第一绝缘层中形成第一晶种区域,所述第一晶种区域具有呈结晶态的第一材料;在所述第一晶种区域及所述第一绝缘层的至少一部分上沉积呈非晶态的第一材料的第一层;在第一材料的所述第一层上沉积第二绝缘层;在所述第二绝缘层中形成第二晶种区域,所述第二晶种区域具有呈结晶态的第一材料;在所述第二晶种区域及所述第二绝缘层的至少一部分上沉积呈非晶态的第一材料的第二层;使用所述第一晶种区域作为晶种,朝向所述第一晶种区域的表面引导多个第一电磁能量脉冲维持

一段足以再结晶及转化第一材料的所述第一层的时间,其中所述第一晶种区域的所述表面上沉积有第一材料的所述第一层,以使第一材料的所述第一层自非晶态转为结晶态并具有如下方所述第一晶种区域的相同晶粒结构及晶体定向;以及使用所述第二晶种区域作为晶种,朝向所述第二晶种区域的表面引导具有不同于所述第一电磁能量的波长及脉冲数量的第二电磁能量维持一段足以再结晶及转化第一材料的所述第二层的时间,其中所述第二晶种区域的所述表面上沉积有第一材料的所述第二层,以使第一材料的所述第二层自非晶态转为结晶态并具有如下方所述第二晶种区域的相同晶粒结构及晶体定向。

[0009] 本发明实施例还提供一种在基板上外延生长单晶硅层的方法,所述方法包含以下步骤:在所述基板的表面上沉积绝缘层;在所述绝缘层的期望区中形成过孔,其中使用单晶硅材料填充所述过孔;在所述过孔及所述绝缘层的至少一部分上沉积非晶硅层;以及使用在所述过孔中的所述单晶硅材料作为晶种,朝向所述过孔的表面引导多个电磁能量脉冲以外延再生长所述非晶硅层,其中所述非晶硅层位于所述过孔的所述表面上,使得所述非晶硅层再结晶以具有如下方所述单晶硅材料的相同晶粒结构及晶体定向。

[0010] 附图简要说明

[0011] 通过参照上述实施例与发明内容的说明,可详细理解本发明的前述特征,其中部分实施例图示于附图中。然应注意的是,附图仅说明了本发明的典型实施例,因而不应视为对本发明范围的限制,亦即本发明可具有其他等效实施方式。

[0012] 图 1A 图示激光退火设备的示意等角图,所述设备适于将能量投射在本文所述实施例的基板的界定区域上。

[0013] 图 1B 图示根据本发明实施例图示于图 1A 中的激光退火设备的示意图。

[0014] 图 2A 至图 2C 图示将自能量源传递至退火区域的能量脉冲调整为时间函数的多种实施例,以获得改良的热对比及退火工艺结果。

[0015] 图 3 为图示根据本发明的一个实施例的工艺的流程图。

[0016] 图 4A 至图 4G 图示基板在图 3 中所示工艺的各个阶段的示意截面图。

[0017] 图 5 为基板的俯视图,图示一或多个结晶晶种区域彼此间隔开来并遍布绝缘层,所述绝缘层形成在非晶层下方。

[0018] 图 6 为图示根据本发明另一实施例的工艺的流程图。

[0019] 图 7A 至图 7L 图示基板在图 6 中所示工艺的各个阶段的示意截面图。

[0020] 为了容易理解,已尽可能指定使用相同的元件符号来代表各图中的相同元件。可预期一个实施例中的一些元件和特征结构可有益于结合在其他实施例中,而无需多加说明。

[0021] 具体描述

[0022] 本发明一般提供使用多个电磁能量脉冲将薄膜固相再结晶的方法。在一个实施例中,可使用本发明的方法通过将多个能量脉冲传递至非晶层所沉积的结晶晶种区域或层上来退火整个基板表面或基板表面的选定区域以再结晶所述非晶层,使所述非晶层具有如下方结晶晶种区域或层的相同晶粒结构或晶体定向。如后文所述,退火工艺一般包括以一系列的序列能量脉冲来传递足够的能量以诱导非晶层的受控结晶,使用下方区域实质上纯且有序 (pure ordered) 的晶体作为晶种,使得具有新排列的晶体或晶粒的单晶层遍及非晶层逐渐形成。

[0023] 图 1A 图示本发明一个实施例的等角视图,可用来实行本发明。在一个实施例中,能量源 20 适于在基板 10 的限定区域或退火区域 12 上投射能量,以优先在退火区域 12 中退火某一期望区域。在一个实施例中,如图 1A 中所示,基板中仅有一或多个限定区域(诸如退火区域 12)在任何给定时间下暴露于来自能量源 20 的辐射。在本发明的一方面中,基板 10 的单一区域相继暴露于自能量源 20 传递的期望量能量,以使基板的期望区域优先退火。在一个实例中,通过相对电磁辐射源的输出来移动基板(例如,传统 X-Y 平台、精密平台)及(或)相对基板平移辐射源的输出,相继暴露基板表面上的一个区域。一般而言,使用一或多个传统电致动器 17(例如,线性马达、导螺杆及伺服马达)来控制基板 10 的移动及位置,其中所述一或多个传统电致动器可为单独精密平台的一部分(未示出)。可使用来支撑且定位基板 10 的传统精密平台以及热交换装置 15 可购自加州罗内特帕克市的 Parker Hannifin 公司。在另一实施例中,同时相继暴露整个基板 10 的表面(例如,相继暴露所有的退火区域 12)。

[0024] 在图示于图 1A 的一方面中,退火区域 12(及传递至退火区域的辐射)经调整尺寸以匹配裸片(die)13(例如,在图 1A 中图示 40 个“裸片”)或形成在基板表面上的半导体器件(例如,存储器芯片)的尺寸。在一方面中,退火区域 12 的边界经对准且经调整尺寸以贴合限定各裸片 13 的边界的“刻痕”线或“刻划”线 10A。在一个实施例中,在执行退火工艺之前,使用通常出现在基板表面上的对准标记及其他传统技术将基板对准至能量源 20 的输出,使得退火区域 12 可适当地对准至裸片 13。相继布置退火区域 12 使得所述退火区域 12 仅重叠在裸片 13 间的诸如刻划线或刻痕线的固有的未使用间隙/边界中,减少了基板上器件形成的区域中能量重叠的需要,且由此减小了重叠退火区域间的工艺结果的差异。因此,由于可将相继布置的退火区域 12 间所传递能量的任何重叠减到最少,因改变基板关键区域暴露至能量源 20 传递的能量而产生的工艺差异量减到最小。在一个实例中,各个相继布置的退火区域 12 为尺寸约 22mm 乘约 33mm 的矩形区域(例如,面积 726 平方毫米(mm^2))。在一方面中,形成在基板表面上的各个相继布置的退火区域 12 的面积介于约 4mm^2 (例如 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$)至约 1000mm^2 (例如, $25\text{mm} \times 40\text{mm}$)之间。应理解退火区域 12 的尺寸可取决于工艺方案所需来调整。如下文所述,在一个实施例中,退火区域 12 的尺寸可经调整以匹配形成在绝缘层中或绝缘层正表面上的结晶品种区域的尺寸。在一个实例中,退火区域 12 的尺寸可经调整以处理具有约 30nm^2 至约 60nm^2 之间的表面积的品种区域。在一个实例中,品种区域可包含许多遍布绝缘层或在绝缘层边缘布置的品种区域。

[0025] 应注意,退火区域 12 的边缘的形状可为不背离本发明如本文所述的范围的任何形状。一般而言,期望能将具有每单位时间均匀能量密度(例如,瓦/(平方毫米·秒)($\text{W}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})$))的能量脉冲传递至整个退火区域 12,使得在退火区域 12 的所有部分的退火工艺是均匀的。举例来说,期望能将具有小于约 5% 的均匀性的能量脉冲传递至整个退火区域 12,其中均匀性是根据将标准差除以平均值来测量。

[0026] 能量源 20 一般适于传递电磁能量以优先退火基板表面特定的期望区域。电磁能量的典型来源包括(但不限于):光辐射源(例如激光或闪光灯)、电子束源、离子束源及(或)微波能量源。在一方面中,将基板 10 暴露至激光的多个能量脉冲,其中所述激光在期望的一段时间内以一或多个适当波长发出辐射。在一方面中,调配(tailor)能量源 20 的多个能量脉冲,使得横跨退火区域 12 传递的能量及(或)在脉冲时间内所传递的能量为最

佳化,而不会熔化或几乎不会熔化已沉积在基板表面上的区域或特定层(例如,在本发明实施例中的非晶硅层),但传递足够能量以促进非晶层 410 的外延再生长(自结晶晶种区域的表面逐渐生长)。因此,在退火区域下方的结晶晶种区域的大部分被激活且传播通过所述非晶层,从而使沉积在结晶晶种区域上的非晶层再结晶。以此方式,各个脉冲完成微退火(micro-anneal)循环,在靠近无序退火区域的底部处导致有序晶体的一些晶格面的外延生长。同时,来自能量源 20 的多个能量脉冲可受控调整,使得传递传递至整个退火区域 12 的能量能够在非晶层中自一个晶格面或自小群晶格面中同时去除大量的损害。

[0027] 在一个实施例中,调谐能量源 20 的波长使得辐射的大部分被设置在基板 10 上的层所吸收。对于在含硅层上执行的退火工艺而言,例如,辐射的波长可小于约 800nm,且可在深紫外线(UV)、红外线(IR)或其他期望波长下传递。在一个实施例中,能量源 20 是强光源(诸如激光),适于以介于约 500nm 至约 11 微米之间的波长传递辐射。在另一实施例中,能量源 20 可为特征为多个辐射发射灯(诸如氙、氙或氙放电灯)的钨丝卤素灯或闪光灯。在此例子中,可使用快门来管理脉冲(将在下文讨论)。在所有例子中,在退火工艺中使用的能量脉冲一般历时相对短的时间,诸如约 1 纳秒(ns)至约 10 毫秒(ms)的数量级。

[0028] 图 1B 为图 1A 中的设备的示意侧视图。功率源 102 耦接至能量源 20。在一个实施例中,能量源 20 包含能量产生器 104(能量产生器 104 可为如以上所述的光源)和光学器件 108。能量产生器 104 经配置以产生能量并将所述能量引导至光学组件 108 中,所述光学组件 108 转而依期望调整能量的形状以便将能量传递至基板 10。光学组件 108 一般包含透镜、滤光器、镜子等,可经配置以聚焦、极化、去极化、滤波或调整由能量产生器 104 产生的能量的相干性(coherency),以传递均匀的能量柱至退火区域 12。光学组件 108 的实例进一步详细地揭露于 2007 年 7 月 31 所申请的美国专利申请号 11/888,433(标题为“APPARATUS AND METHOD OF IMPORVING BEAN SHAPING AND BEAM HOMOGENIZATION”,所述专利申请的全文并入本文参考。

[0029] 为了传递能量脉冲,能量产生器 104 可含有脉冲激光,所述脉冲激光经配置而以单一波长或同时以两个波长来发射光。在一个实施例中,能量产生器 104 可包含 Nd:YAG 激光,具有一或多个内部频率转换器以致使激光头以不同激光频率来发射光。或者,能量产生器 104 可经配置以同时发射三个或更多个波长,或进一步替代地或此外地以提供可调波长(wavelength-tunable)输出。在一个实例中,使用在能量产生器 104 中的激光头是 Q 开关式(Q-switched)以发射短、强脉冲,其中脉冲历时时间为(例如)1 纳秒至 1 秒的范围。

[0030] 在一个实施例中,为了实现脉冲激光,设备可含有开关 106。开关 106 可以为能在 1 微秒(μs)或更短时间内开启或关闭的快速快门。或者,开关 106 可以为光学开关,诸如不透明晶体,当临界强度的光照射到不透明晶体时,所述不透明晶体将在小于 $1 \mu s$ 的时间内变得透明。在一些实施例中,光学开关可经配置以在小于 1ns 内改变状态。光学开关通过中断朝向基板引导的电磁能量的连续射束来产生脉冲。通过控制器 21 来操作开关,且开关可设在能量产生器 104 的外侧,诸如所述开关耦接至或紧固至能量产生器 104 的输出区,或开关可设在能量产生器 104 的内侧。在替代实施例中,能量产生器可通过电子装置来切换。控制器 21 可经配置以如需要切换功率源 102 的开关,或可提供电容器 110 使得所述电容器 110 可由功率源充电并通过控制器 21 的电路激发而放电至能量产生器 104。借助电容器的电开关是一种自开关(self-switching),因为电容器 110 提供的能量降低至特定的功

率阈值时,能量产生器 104 将停止产生能量。当电容器 110 由功率源 102 充电时,随后所述电容器 110 可放电至能量产生器 104 以产生另一能量脉冲。在一些实施例中,可配置电开关以在 1 纳秒内切换功率开关。

[0031] 在一个实施例中,如图 1 所示,可期望在热处理期间通过使基板 10 的表面与热交换装置 15 的基板支撑表面 16 热接触来控制基板的温度。热交换装置 15 通常适于在退火工艺之前或退火工艺期间加热及(或)冷却基板。在此配置中,可使用热交换装置 15(诸如可得自加州圣塔克拉拉应用材料公司的传统基板加热器)来改良基板退火区域的处理后的性质。一般而言,将基板 10 放置在处理腔室(未示出)(含有热交换装置 15)的封闭处理环境(未示出)中。内部放有基板的处理环境在处理期间可被抽空或含有适合于所需工艺的气体。例如,本发明实施例可使用在需要提供特定气体至腔室的沉积工艺或注入工艺中。所述气体可为反应性,诸如用于沉积工艺的前驱物,或非反应性,诸如通常使用在传统热处理中的惰性气体。

[0032] 在一个实施例中,可在执行退火工艺之前预热基板,使得渐增的退火能量的需求减到最少,这样做可减少由于快速加热或冷却基板而引起的任何应力且也可使基板的退火区的缺陷密度减到最小。在图 1A 所示的一方面中,热交换装置 15 含有电阻加热元件 15A 与温度控制器 15C,适于加热设置在基板支撑表面 16 上的基板。温度控制器 15C 联通控制器 21。在一方面中,期望预热基板至介于约 20°C 至约 750°C 之间的温度。在一方面中,其中基板是由含硅材料所形成,期望预热基板至介于约 20°C 至约 500°C 之间的温度。

[0033] 在另一实施例中,期望在处理期间冷却基板以减少任何由于退火工艺期间添加能量至基板产生的内部扩散。在需要渐进熔化基板的工艺中,随后的冷却可增加再生长速度,这可增加处理期间多个区域的非晶化。在一方面中,热交换装置 15 含有一或多个流体通道 15B 及低温冷却器 15D,适于冷却设置在基板支撑表面 16 上的基板。在一方面中,传统低温冷却器 15D(与控制器 21 联通)适于通过一或多个流体通道 15B 传递冷却流体。在一方面中,期望冷却基板至介于约 -240°C 至约 20°C 之间的温度。

[0034] 控制器 21(图 1A)通常经设计以便于本文所述的热处理技术的控制及自动化,且通常控制器 21 可包括中央处理单元(CPU)(未示出)、存储器(未示出)、及支持电路(或 I/O)(未示出)。CPU 可为使用在工业设备中用于控制各种工艺及硬件(例如,传统电磁辐射检测器、马达、激光硬件)及监控工艺(例如,基板温度、基板支撑件温度、来自脉冲激光的能量、检测器信号)的任何形式计算机处理器中的一种。存储器(未示出)连接至 CPU 且可为一或多个可读存储器,诸如随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、软盘、硬盘或任何其他形式的本地或远程数字存储器。可在存储器内编码并存储软件指令和数据以指示 CPU。支持电路(未示出)也连接至 CPU 而以传统方式支持处理器。支持电路可包括传统缓存器、电源、时钟电路、输入/输出电路、子系统等。可通过控制器读取程序(或计算机指令)来判定在基板上可执行何种任务。较佳地,程序可由控制器的软件读取且包括编码以监控和控制基板位置、在各个电磁脉冲中传递的能量、一或多个电磁脉冲的时序、各脉冲以时间为函数的强度和波长、基板多个区域的温度及上述的组合。

[0035] 如上所述,能量源 20 一般适于传递电磁能量以优先熔化基板 10 的特定期望区域。电磁能量的典型来源可包括(但不限于):光学辐射源、电子束源、离子束源和(或)微波能量源。在本发明的一个实施例中,能量源 20 适于传递光学辐射(诸如激光)以选择性将

基板的期望区域加热到熔点。在一方面中,基板 10 暴露至激光的能量脉冲,且所述激光以一或多个适当波长发出辐射,且所发出的辐射具有期望能量密度 (W/cm^2) 和 (或) 脉冲历时时间以增强特定期望区域的优先熔化。对于在含硅基板上实行的激光退火工艺而言,辐射的波长通常小于约 800nm。在任一例子中,退火工艺通常发生在基板的给定区域上而历时相对短的时间,诸如约 1 秒或更短的数量级。在退火工艺使用的期望波长和脉冲轮廓可鉴于基板材料性质并根据激光工艺的光和热模拟来决定。

[0036] 图 2A 至图 2C 图示自能量源 20 传递至退火区域 12 (图 1) 的能量脉冲属性的多种实施例,其中能量脉冲属性经调整为时间的函数以获得改良的热对比及退火工艺结果。在一个实施例中,期望以时间的函数改变激光脉冲的形状,及 (或) 改变传递能量的波长以增强欲熔化的基板区域的热输入,并使至其他区域的热输入减到最少。在一方面中,也可期望能改变传递至基板的能量。

[0037] 图 2A 图示呈梯形的电磁辐射脉冲 (例如,脉冲 201)。在此例子中,在脉冲 201 的两个区段 (例如 202 及 204) 中,传递的能量是以时间为函数改变。尽管图 2A 图示脉冲 201 轮廓或形状 (其中能量相对于时间以线性方式改变),由于以脉冲传递的能量的时间差异可 (例如) 具有二次、三次或四次塑形曲线,此图并不意欲将本发明范围限制于此。在另一方面中,以时间为函数呈脉冲传递的能量的轮廓或形状可为二阶、三阶或指数形曲线。在另一实施例中,在处理期间使用具有不同形状 (例如,矩形和三角形调制脉冲,正弦和矩形调制脉冲、矩形、三角形和正弦调制脉冲等) 的脉冲可以是有利的,以获得期望的退火结果。

[0038] 在图 2A 所示的实施例中,调整区段 202 的斜率、脉冲 201 的形状、区段 203 的形状、在功率值的时间 (例如,区段 203 位在能量值 E_1)、区段 204 的斜率以及 (或) 区段 204 的形状以控制退火工艺。应注意,由于考虑粒子和工艺结果差异,一般不希望使材料在退火区域内汽化。因此期望调整能量脉冲的形状以快速地将退火区域的温度提升至目标温度而不使所述区域过热并造成粒子汽化。在一个实施例中,如图 2C 所示,可调整脉冲 201 的形状使得所述脉冲 201 的形状具有多个区段 (例如,区段 202、203A、203B、203C 及 204) 而使用来快速将退火区域提升至目标温度且随后保持材料在所述温度一段期望时间 (例如 t_1),同时防止材料在退火区域内汽化。时间的长度、区段的形状和各脉冲区段的历时时间可随尺寸、熔化深度以及退火区域中含有的材料改变而改变。

[0039] 在一个实施例中,在不同的时间点将两个或更多个电磁辐射脉冲传递至基板的区域,使得基板表面上的区域的温度可轻易地受到控制。图 2B 图示两个脉冲 201A 及 201B 的图形,两个脉冲 201A 及 201B 间隔一段时间或周期 (t) 来传递,以选择性加热基板表面上的特定区域。在此配置中,通过调整相继脉冲间的周期,可轻易地控制基板表面上的区域所达到的尖峰温度。例如,通过减少脉冲间的周期 (t) 或频率,传递第二脉冲 201B 之前在第一脉冲 201A 中传递的热量将有较少时间得以分散,这样将造成在基板中达到的尖峰温度高于当增加脉冲间的周期时所达到的温度。通过以此方式调整周期,可轻易地控制能量及温度。在一方面中,可期望确保各脉冲自身不具有足够能量使基板达到目标温度,但多个脉冲的结合使退火区域 12 达到目标温度。相对于传递单一能量脉冲,这种传递多个脉冲 (诸如,两个或更多个脉冲) 的工艺将倾向减少基板材料所经受的热冲击。热冲击可导致基板损害及产生粒子,粒子的产生将于后续在基板上施行的处理步骤中产生缺陷。

[0040] 图 3 为图示根据本发明一个实施例的工艺 300 的流程图。图 4A 至图 4G 图示基板

在图 3 所示的工艺 300 的各个阶段的示意截面图。在步骤 302, 如图 4A 所示, 绝缘层 402 形成在基板 400 的正表面 404 上。基板可具有或不具有如晶体管之类的半导体器件设置于所述基板中。在一个实施例中, 绝缘层 402 为介电层, 诸如氧化物或氮化物。在一个实例中, 绝缘层为形成在含硅基板的正表面上的氧化硅层。可使用传统热氧化工艺来形成绝缘层, 所述传统热氧化工艺为诸如熔炉退火工艺、快速热氧化工艺、大气压或低压 CVD 工艺、等离子体增强 CVD 工艺、PVD 工艺、原子层沉积 (ALD)、蒸发技术, 或使用喷涂 (sprayed-on)、旋涂 (spin-on)、滚涂 (roll-on)、网印或其他相似类型的沉积工艺。在一个实施例中, 绝缘层为厚度介于约 50 Å 至约 3,000 Å 之间的氧化硅层。应理解上述绝缘层的讨论并非意欲限制于本文所述的发明的范围中。可基于处理方案的需要采用任何其他介电材料, 所述介电材料为诸如二氧化硅、碳化硅 (SiC_x)、氧化铝 (AlO_x)、氮化硅 (SiN_x)、氮氧化硅及 (或) 诸如 SiO_xC_y 的掺杂碳的硅氧化物, 例如可购自加州圣塔克拉拉应用材料公司的 BLACKDIAMOND® 低 k 介电材料或类似材料。

[0041] 一般而言, 本文所使用的术语“基板”, 代表可由具有一些自然导电能力的任何材料或经改性以提供导电性的材料形成的物体。典型的基板材料包括 (但不限于) 半导体 (例如硅 (Si) 和锗 (Ge)), 以及其他展现半导体性质的化合物。这类半导体材料一般包括 III-V 族化合物及 II-VI 族化合物。代表性的 III-V 族半导体化合物包括 (但不限于) 砷化镓 (GaAs)、磷化镓 (GaP) 及氮化镓 (GaN)。一般而言, 术语“半导体基板”包括块体半导体基板以及具有沉积层沉积于基板上的基板。为此, 在某些半导体基板中通过本发明方法处理的沉积层是通过生长同质外延 (例如, 硅上硅) 或异质外延 (例如, 硅上 GaAs) 所形成的。例如, 本发明方法可使用异质外延方法形成的砷化镓基板以及氮化镓基板。相似地, 也可应用本发明方法在绝缘基板 (例如, 绝缘层上覆硅“SOI”基板) 上形成的相对薄的结晶硅层上形成集成器件, 诸如薄膜晶体管 (TFT)。虽然并未在图中示出, 应理解基板表面可含有特征结构, 例如晶体管结、过孔、接触件、接线、或任何其他互连切面 (例如, 垂直或水平互连)。本文所使用的“基板表面”代表任何执行膜沉积的基板表面。例如, 基板表面可包括先前所述的绝缘层。

[0042] 在步骤 304, 在绝缘层 402 的期望位置中形成过孔或通孔 (through hole)。在一个实施例中, 如图 4B 中所示, 使用选择材料去除工艺 (例如湿蚀刻或干蚀刻型工艺) 来选择性蚀刻绝缘层 402, 直到开口 406 达到期望厚度 d_1 , 暴露基板 400 上表面的一部分。在一个实施例中, 开口 406 的厚度 d_1 介于约 50 埃(Å)至约 1,000 埃(Å)之间。在一个实施例中, 在绝缘层 402 上形成光刻胶图案之后, 可使用光刻胶图案作为蚀刻掩模来形成开口 406。应理解, 开口 406 可延伸至下方的基板 400 中, 或者开口 406 的厚度小于如图示 d_1 的厚度, 而不会暴露基板 400 上表面的一部分, 只要当待填充开口 406 的结晶晶种材料 (随后将被沉积在后续的步骤中) 自一系列的电磁辐射序列脉冲接收到足够能量时便足以引发非晶层的再结晶。

[0043] 在步骤 306, 如图 4C 中所示, 在绝缘层 402 上和开口 406 中沉积具有结晶基底材料的结构的结晶晶种层 408。在一个实施例中, 使用传统沉积工艺来形成结晶晶种层 408, 传统沉积工艺诸如化学气相沉积 (CVD)、等离子体增强 CVD、原子层沉积 (ALD) 或其他类似工艺。随后, 在步骤 308, 如图 4D 中所示, 使用化学机械研磨 (CMP) 来平坦化基板 400 的正表面 404, 从而获得填充有结晶晶种材料的开口 406。或者, 可通过选择性外延生长工艺来

形成结晶晶种层 408, 所述选择性外延生长工艺诸如气相外延工艺、液相外延工艺或分子束外延工艺等。在此情形中, 结晶晶种层 408 一般自基板经由开口 406 暴露的表面生长以获得实质上单晶、无缺陷层。在一个实施例中, 结晶晶种层 408 具有实质上与绝缘层 402 的厚度 (意即, d_1) 相同的厚度。在任一种情况中, 以实质相同于绝缘层 402 的厚度的结晶晶种材料来填充开口 406, 产生结晶晶种区域 408。结晶晶种区域 408 一般充当为提供结晶源的晶种, 当自电磁辐射的一系列序列脉冲接收到足够能量时 (如后文将讨论的脉冲序列退火工艺), 自所述结晶源开始待沉积于所述结晶晶种区域 408 上的非晶层 410 的外延再生, 并且非晶层 410 的外延再生向四面八方传播, 诸如横向分散至遍及非晶层表面, 从而在基板表面上形成呈结晶相的期望材料层。

[0044] 在一个实施例中, 结晶晶种区域 408 为具有期望表面积的柱状形式。在一个实施例中, 结晶晶种区域 408 的表面积介于约 30nm^2 至约 60nm^2 之间。在一个实例中, 结晶晶种区域 408 的表面积约 50nm^2 。在另一实施例中, 结晶晶种区域 408 的表面积介于约 726mm^2 至约 1000mm^2 之间。虽然在图 4C 中绝缘层 402 内只有一个开口 406, 但在一些实施例中, 具有超过一个开口 406 可以是有利的, 开口 406 具有结晶晶种材料填充所述开口 406 中。在一个实施例中, 一或多个结晶晶种区域 408 位于绝缘层 402 的边缘区。在另一实施例中, 一或多个结晶晶种区域 408 遍布绝缘层 402 表面间隔散布。图 5 为基板 400 的俯视图, 图示形成于非晶层 410 下方并遍布绝缘层 402 间隔散布的一或多个结晶晶种区域 408。应理解, 结晶晶种区域 408 的形式并非意欲限制为上述特定形式或形状, 当使用如上述的脉冲序列退火工艺处理时, 只要结晶晶种区域 408 的排列有利于非晶层的固相再结晶的整体速度, 所述非晶层将沉积在结晶晶种区域 408 及绝缘层 402 上。例如, 结晶晶种区域 408 可为量子点形式、多个点的期望图案或任何预定形状。或者, 结晶晶种材料可以位于绝缘层 402 上方的层的形式呈现。在此情况中, 结晶晶种层可具有适合的厚度, 介于约 50 埃($\text{\AA}$)至约 1,000 埃($\text{\AA}$)之间, 或者结晶晶种层可具有任何取决于处理方案所需的期望厚度。

[0045] 在一个实施例中, 结晶晶种区域 408 可含有单晶硅。在另一实施例中, 结晶晶种区域 408 可含有单晶锗。或者, 结晶晶种区域 408 可含有 $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ 合金或其他可展现半导体性质的化合物。这类半导体化合物一般包括掺杂或未掺杂的 III-V 族化合物或 II-VI 族化合物。适当的 IV 族元素或化合物实例包括锗、锗化硅和碳化硅。适当的 III-V 族化合物实例包括铟化镓、砷化镓、氮化镓、磷化镓、铟化铝、砷化铝、氮化铝、磷化铝、铟化铟、砷化铟、氮化铟、磷化铟及上述物质的三元或四元化合物。适当的 II-VI 族化合物实例包括硒化锌、硫化锌、硒化钙、硫化钙及上述物质的三元或四元化合物。或者, 在一个实施例中, 结晶晶种区域 408 可含有 II-VI 族或 III-V 族的二元化合物、II-VI 族或 III-V 族的三元化合物、II-VI 族或 III-V 族的四元化合物, 或上述化合物的混合物或上述化合物的组合物。取决于应用所需, 如后文所述, 为了充当待形成在绝缘层 402 和结晶晶种层 408 上方的非晶层的磁性介质源, 结晶晶种区域 408 可含有金属、类金属或磁性金属, 所述磁性金属诸如铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 和上述金属的合金。

[0046] 在步骤 310, 非晶层 410 沉积在基板 400 的正表面 404 上, 覆盖结晶晶种区域 408 及至少一部分的绝缘层 402。在一方面中, 如图 4E 中所示, 非晶层 410 遍布结晶晶种区域 408 及绝缘层 402 的正表面沉积。在一个实施例中, 非晶层 410 可含有一般与形成在结晶晶种区域 408 中的材料匹配的非晶材料。例如, 当结晶晶种区域 408 含有锗材料时, 非晶层

410 可为非晶锗层。或者,当结晶晶种区域 408 含有硅材料时,非晶层 410 可为非晶硅层。

[0047] 可使用传统沉积工艺来形成非晶层 410,所述传统沉积工艺诸如化学气相沉积 (CVD)、等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 或诸如热线化学气相沉积 (HWCVD) 或原子层沉积 (ALD) 的其他相似类型的沉积工艺。非晶层 410 可具有相对薄或任何期望的厚度。在一个实施例中,所形成的非晶层 410 具有介于约 50 埃(Å)至约 1,000 埃(Å)之间的厚度。在一个实例中,所形成的非晶层 410 具有约 200 埃(Å)的厚度。

[0048] 在步骤 312,将使用多个电磁辐射脉冲 412 或脉冲序列退火工艺的退火工艺传递至基板 400 的正表面 404 的区域,或一次传递至基板的整个正表面 404。来自微退火激光脉冲序列的能量促进非晶层 410 的一些单层的外延再生,渐进地从单晶表面再结晶化非晶层 410。本文的脉冲序列退火工艺一般通过协同图 1A 及图 1B 所述的设备执行,允许多个相同的电磁辐射脉冲传递至基板,各脉冲完成单一微退火工艺而在期望深度中在 1 毫秒 (ms) 或更短时间内,加热基板数个微米深或基板的数个原子层至亚熔化 (submelt) 温度,诸如对硅基板加热至约 1300°C,且随后允许所赋予能量在晶体晶格内完整地耗散,使得受影响的晶格层的温度回到靠近受控预热温度的低温。预热温度表示在传递第一脉冲之前维持基板的温度,且预热温度可介于约 400°C 至约 800°C 之间。在各微退火循环中,没有束缚于晶体晶格的原子被略微移出原子半径。因为没有自传递脉冲接收到足够的能量,那些束缚于晶格的原子通常不会移动。在此方式中,各微退火循环将个别填隙原子移动至期望的晶格位置。当填隙原子填充晶格位置时,其他未安置的填隙原子经由基板扩散,直到在晶体晶格内找到期望位置。以此方式,可使用脉冲序列退火 (Pulse Train Annealing, 此后称“PTA”) 来控制晶体晶格内的填隙原子的原子位置。因此,可使用 PTA 工艺在原子长度尺度下于半导体器件内控制原子的移动。

[0049] 在一个实施例中,使用多个电磁辐射脉冲 412 或脉冲序列退火的退火工艺传递至所形成的结晶晶种区域 408 的表面 (意即,在结晶晶种区域 408 与非晶层 410 之间的界面) 维持一段期望时间,各脉冲经配置为在基板的至少一部分上执行微退火工艺,如上所述及图 4F 所示。典型的电磁能量源包括 (但不限于) 光学辐射源、电子束源及 (或) 微波能量源。

[0050] 在一个实施例中,采取短暂脉冲 (short-duration pulse) 形式来发射能量,各脉冲历时约 1 纳秒 (ns) 至约 1 秒。在一个实施例中,脉冲历时时间可介于约 10 纳秒至约 20 毫秒之间。在一个实施例中,各脉冲一般将以至少 10 毫瓦 (mW) (诸如介于约 10mW 至 10W 之间) 的能量值传递约 0.2J/cm² 至约 100J/cm² 能量密度。在一个实施例中,例如,通过各脉冲传递的能量密度为约 0.5J/cm²。选择用于脉冲的光波长以在基板的晶体晶格内致使原子移动最佳化,促进非晶层 410 的外延再生。在本发明的一些实施例中,能量脉冲是在红外线光谱的波长范围内传递。其他实施例使用的脉冲光是在 UV 光谱的范围内或结合不同光谱的波长。用于脉冲的能量或光波长可取决于结晶晶种区域 408 的深度以及非晶层 410 的材料或厚度而改变。在一个实施例中, (例如) 当非晶层 410 含有非晶硅时,光可具有能产生高于约 1,410°C 的温度的能量,此后非晶硅可在这温度熔化。

[0051] 如上所述,使用多个脉冲来促进非晶层 410 的外延再生。可使用数目自 10 至 100,000 个的多个脉冲使原子在约单一晶格平面或约一个原子的距离至数个晶格平面或至数个原子距离的范围内产生移动。在一个实施例中,可使用至少 30 个脉冲 (诸如介于约

30 至约 100,000 个之间的脉冲) 来退火及再结晶非晶层 410。在另一实施例中,使用至少 50 个脉冲(诸如介于约 50 至约 100,000 个之间的脉冲) 来退火及再结晶非晶层 410。在另一实施例中,使用至少 70 个脉冲(诸如介于约 70 至约 100,000 个之间的脉冲) 来退火及再结晶非晶层 410。在另一实施例中,使用至少 100 个脉冲诸如介于约 100 至约 100,000 个之间的脉冲) 来退火及再结晶非晶层 410。在另一实施例中,使用至少介于约 10,000 至约 70,000 个之间的脉冲(例如约 50,000 个脉冲) 来退火及再结晶非晶层 410。如上所述,各脉冲完成一个完整的微退火循环。在施加下一个脉冲之前,允许能量脉冲在基板内完全耗散而使移动停止。以此方式调整脉冲的数量可控制原子在非晶层的晶体晶格内的重新排列。

[0052] 不受限于理论,一般认为撞击基板表面的各个脉冲将在晶体晶格内产生振动,所述振动穿过基板 400 传播。如果脉冲间的时间间距短于耗散各个脉冲传递的热所需的时间,那么热会堆积在晶格中,且升高晶格的温度。然而,如果所传递的脉冲间的时间间距太长,各脉冲的添加效应将无法致使基板中的温度升高,且因此各脉冲的热效应将会局限在晶体晶种区域 408 的区,或只在基板表面下方的区,例如高达约 100 埃或表面的更下方,取决于脉冲的历时时间和强度。因此,加热基板至低于基板熔点的温度,但高到足以允许晶格原子重新排列以及非晶层的再生长。在一个实施例中,通过对基板表面传递介于约 $0.2\text{J}/\text{cm}^2$ 至约 $100\text{J}/\text{cm}^2$ 之间的能量脉冲所带给晶体晶格的振动能量,可在各脉冲结束之后在约 1 微秒内以热的形式耗散且辐射出去。应理解,本文所述在半导体基板上执行激光退火工艺所需的能量可非常的大。例如,在 8 纳秒至 10 纳秒(ns) 的脉冲历时时间下,自能量源传递的能量剂量可介于约 1 焦耳至约 10 焦耳之间,等同于在各脉冲内对退火区域传递介于约 100MW 至约 1,250MW 之间的平均总功率。如果退火区域具有介于约 4mm^2 至约 1000mm^2 之间的面积,那么平均能量密度将介于约 $0.1\text{MW}/\text{mm}^2$ 至约 $313\text{MW}/\text{mm}^2$ 之间。虽然各脉冲较佳传递相等的能量,在一些实施例中,根据预定配方(recipe) 改变传递脉冲的能量(例如,以期望的图案斜升或下降) 可以是有利的。

[0053] 应理解,可取决于结晶晶种区域及期望的移动量来调谐电磁辐射的强度和波长。使用的能量波长范围一般从微波(例如约 3 厘米) 经由可见光至深紫外线(例如约 150 纳米(nm))。可在激光应用中使用范围自约 300nm 至约 1000nm 范围的波长,诸如小于约 800nm 的波长。由于激光退火工艺的效果取决于待被退火材料对能量源传递的能量的透射、吸收及反射,可调谐传递能量的波长(λ) 或多个波长,使得所述波长可在基板中传递期望数量的能量至期望深度。因此,非晶层 410 越薄,穿透非晶层 410 所需的电磁辐射波长越短。以此方式,可以按照深度选择方式使非晶层外延再生长。

[0054] 通过传递多个相同的电磁辐射脉冲,上述的脉冲序列退火工艺允许在非晶层 410 内控制原子移动的原子能级,其中各脉冲执行完整的微退火循环。在步骤 314,传递至结晶晶种区域 408 表面或由结晶晶种区域 408 吸收的电磁辐射的各个脉冲,在结晶晶种区域 408 表面处或附近提供原子能量,自此开始非晶层 410 的外延再生,并且所述非晶层 410 的外延再生传播至四面八方,诸如横向遍布非晶层 410 的表面,使得非晶层 410 逐渐再结晶并具有如下方结晶晶种区域 408 的相同晶粒结构及晶体定向,如图 4G 所示。

[0055] 虽然本文所述的晶种区域是结晶相,应理解本发明的概念也可应用至不同相的晶种区域,所述不同相诸如为多晶形。在以多晶形晶种材料填充开口 406 的一个实施例中,当

自一系列的电磁辐射序列脉冲接收足够的能量时（例如，上述的 PTA 工艺），多晶形晶种区域将提供结晶源，自此开始多晶形晶种的生长，并且所述多晶形晶种的生长传播遍及沉积于所述多晶形晶种区域上的非晶层，从而在基板表面上以多晶相形成期望的材料层。

[0056] 图 6 为根据本发明另一实施例图示工艺 600 的流程图。图 7A 至图 7L 图示基板在图 6 中所示的工艺 600 的各个阶段的示意截面图。由于描述于步骤 602 至步骤 610 的工艺步骤相似于上述协同步骤 302 至步骤 310 实行的工艺，个别的工艺步骤将不在此重新讨论。

[0057] 在步骤 612，第二绝缘层 702 形成在非晶层 410 上。第二绝缘层 702 可含有相似于绝缘层 402 的介电材料。在步骤 612 执行的沉积工艺及步骤一般相同于上述协同步骤 302 所执行的工艺。第二绝缘层 702 可具有或不具有与绝缘层 402 相同的厚度，取决于处理方案所需。

[0058] 在步骤 614，使用选择材料去除工艺（所述选择材料去除工艺一般相同于协同步骤 304 执行的工艺）来选择性蚀刻第二绝缘层 702，直到开口 706 达到期望厚度 d_2 ，暴露出非晶层 410 的上表面的一部分，如图 7G 所示。在一个实施例中，开口 706 的厚度 d_2 介于约 50 埃(Å)至约 1,000 埃(Å)之间。应理解，开口 706 可如图示具有小于厚度 d_2 的厚度，而不暴露出非晶层 410 上表面的一部分。

[0059] 在步骤 616，如图 7H 所示，在第二绝缘层 702 上和开口 706 中沉积第二结晶晶种层 708（所述第二结晶晶种层 708 具有结晶基底材料）。在步骤 616 所执行的第二结晶晶种层 708 的形成一般相同于上述协同步骤 306 所执行的工艺。随后，在步骤 618，如图 7I 所示，使用 CMP 或相似工艺来平坦化基板 400 的正表面 404，使得获得填充结晶晶种材料的开口 706。或者，可通过上述协同步骤 306 的选择性外延生长工艺来形成第二结晶晶种层 708。在一个实施例中，第二结晶晶种层 708（图 7I）可具有实质上相同于第二绝缘层 702 的厚度（意即， d_2 ）的厚度。在任一种方式中，以实质上相同于第二绝缘层 702 的厚度的结晶晶种材料来填充开口 706，产生第二结晶晶种区域 708。

[0060] 在一个实施例中，第二结晶晶种区域 708 为柱状、层状、量子点形式或任何其他期望的点图案，或具有如上述协同步骤 308 的相似情况（例如，表面积或厚度）的形状。同理，第二结晶晶种区域 708 如图 5 中所示具有超过一个区域可以是有利的，当自一系列的电磁辐射序列脉冲（例如，先前所述的脉冲序列退火工艺）接收足够能量时，得以增加待被沉积在第二结晶晶种区域 708 上的第二非晶层的固相再结晶速度。

[0061] 取决于处理方案所需，在一个实施例中，第二结晶晶种区域 708 可含有相似于结晶晶种区域 408 的材料或化合物的材料或化合物。例如，当结晶晶种区域 408 含有硅材料时，第二结晶晶种区域 708 可含有锗材料，或反之亦然。在一个实施例中，第二结晶晶种区域 708 可含有与结晶晶种区域 408 的材料或化合物不同的材料或化合物。在一个实施例中，第二结晶晶种区域 708 可含有单晶硅。在另一实施例中，第二结晶晶种区域 708 可含有单晶锗。或者，第二结晶晶种区域 708 可含有硅锗。在又另一实施例中，第二结晶晶种区域 708 可如先前所述实例含有掺杂或未掺杂的 IV 族元素或化合物、III-V 族化合物或 II-VI 族化合物或实质上由掺杂或未掺杂的 IV 族元素或化合物、III-V 族化合物或 II-VI 族化合物构成。第二结晶晶种区域 708 可含有金属、类金属或诸如铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 及上述金属的合金的磁性材料，以作为待形成在第二绝缘层 702 及第二结晶晶种区域 708 上的非晶层的磁性介质源。

[0062] 在步骤 620, 在基板 400 的正表面 404 上沉积第二非晶层 710, 覆盖第二绝缘层 702 的至少一部分以及第二结晶晶种区域 708。在一方面中, 如图 7J 所示, 遍布第二结晶晶种区域 708 的上表面及第二绝缘层 702 沉积第二非晶层 710。在一个实施例中, 第二非晶层 710 可含有一般匹配形成在第二结晶晶种区域 708 中的材料的非晶材料。例如, 当第二结晶晶种区域 708 含有锗材料时, 第二非晶层 710 可为非晶锗层。或者, 当第二结晶晶种区域 708 含有硅材料时, 第二非晶层 710 可为非晶硅层。

[0063] 在图 7J 所示的实施例中, 当非晶层 410 及结晶晶种区域 408 形成在结构的较低位置时, 第二非晶层 710 及第二结晶晶种区域 708 形成在结构的较高位置。在一个实施例中, 第二非晶层 710 与第二结晶晶种区域 708 一般平行并相对于非晶层 410 及结晶晶种区域 408。在第二结晶晶种区域 708 与结晶晶种区域 408 为柱状、点状形式或任何期望形状时, 从结构上方俯视时, 第二结晶晶种区域 708 可对准结晶晶种区域 408 或未对准结晶晶种区域 408。虽然本文并未示出, 应理解取决于应用所需, 基板 400 下方及 (或) 第二绝缘层 702 与非晶层 410 之间可有诸如晶体管之类的其他半导体器件。

[0064] 可使用一般与协同步步骤 310 所执行的工艺相同的沉积工艺来形成第二非晶层 710。在一个实施例中, 第二非晶层 710 可具有相对薄的厚度或期望厚度。在一个实施例中, 所形成的第二非晶层 710 的厚度介于约 50 埃(Å)至约 1,000 埃(Å)之间。在一个实例中, 第二非晶层 710 的厚度约 200 埃(Å)。然而, 应理解可取决于处理方案所需而沉积不同厚度。

[0065] 在步骤 622, 将使用多个脉冲的电磁辐射能量 711 或脉冲序列退火的退火工艺传递至基板 400 的正表面 404 的区域, 或同时传递至基板的整个正表面 404。此处所述的脉冲序列退火工艺一般以相同于协同步步骤 312 执行的工艺的方式传递。然而, 由于激光退火工艺的效果取决于待被退火材料对能量源传递的能量的透射、吸收及反射, 因此可调节传递能量的波长 (λ) 或多个波长, 使得所述波长可在基板中传递期望数量的能量以达到期望深度。应注意, 各光子传递的能量也可随着波长 ($E = hc/\lambda$) 的函数改变, 且因此波长越短, 各光子传递的能量越大。在一些例子中, 某些材料 (诸如硅) 具有随着厚度和波长而改变的吸收限 (absorption edge), 限制基板材料所吸收的波长。因此, 取决于制成基板的材料的厚度及类型, 可改变发出的辐射的波长以对基板实现期望的能量传递而使损害减到最小并促进基板的暴露区域的均匀加热。以此方式, 当使用多层结晶晶种层及非晶层时, 如图 7J 所示的实施例, 为了传递期望能量以在基板内达到期望深度而不熔化目标层下方的层, 取决于材料的厚度及类型, 可调整多个电磁辐射脉冲的能量或波长。

[0066] 在采用多个层的实施例中, 例如图 7J 所示的结构, 一系列的电磁辐射能 711 序列脉冲可以小于约 1064nm 的波长传递能量至结晶晶种区域 408, 或所述能量被结晶晶种区域 408 的表面所吸收, 而在结晶晶种区域 408 表面处或附近提供原子能量, 自所述结晶晶种区域 408 表面处或附近开始沉积于所述结晶晶种区域 408 上的非晶层 410 的外延再生长, 并且所述非晶层 410 的外延再生长传播到四面八方, 诸如横向遍布非晶层 410 的表面。退火的目的是使用结晶晶种区域 408 作为晶种, 以便使遍布非晶层 410 的原子重新排序在晶体晶格中的规则位置处, 使得非晶层 410 逐渐地再结晶并具有如下方结晶晶种区域 408 的相同晶粒结构及晶体定向。步骤 622 中图示以及图 7K 中所示的转化硅层标为元件符号 410'。随后, 一系列的电磁辐射 711 序列脉冲经调适以小于约 800nm 的波长将能量传递至第二结晶晶种区域 708 表面或被第二结晶晶种区域 708 表面所吸收, 自所述表面开始结晶晶种的

生长,并且所述结晶晶种的生长传播到四面八方,诸如横向遍布第二非晶层 710 的表面,从而再结晶第二非晶层 710。转化硅层在步骤 624 中及图 7L 中标为元件符号 710'。在一个实例中,自电磁能量源传递至第二结晶晶种区域 708 的电磁能量的波长为约 532nm。在又一实例中,自电磁能量源传递至第二结晶晶种区域 708 的电磁能量的波长为约 216nm 或约 193nm。在本发明的一方面中,Q 开关 Nd:YAG(掺杂钕的钇铝石榴石)激光适于以介于约 266nm 至约 1064nm 之间的波长传递能量。尽管脉冲的时序、历时时间、轮廓(例如,能量相对于时间)及脉冲的数目与上述协同步骤 312 所实施的条件类似,但可视工艺方案所需调整这些参数。例如,取决于期望的结晶晶种区域的深度及移动量,施加至结晶晶种区域 408 的电磁能量介于约 30 个脉冲至约 10,000 个脉冲之间,而施加至第二结晶晶种区域 708 的电磁能量介于约 10,000 个脉冲至约 100,000 个脉冲之间,或反之亦然。

[0067] 应理解,本发明并非意欲限制于所述的两个结晶晶种区域及两个非晶层。由于可通过改变能量脉冲的轮廓以深度选择方式再生长非晶层,因此可采用任何数量的层。在具有多层的结构的例子中(例如,两个或更多个结晶晶种区域及非晶层),先前已经经过再结晶的非晶层可变成邻近的一非晶层(但未结晶)的新结晶晶种源,从而增加再结晶工艺的整体速度。

[0068] 应理解,图示于图 4 和图 7 中的步骤的数量及顺序并非意欲将本发明的范围限制于本文所述,由于可添加一或多个步骤,可在不背离本文所述发明的基本范围下删除及(或)重新排序步骤。例如,在图 7J 及图 7K 所示的实施例中,可首先以短波长(例如介于约 266nm 至约 532nm 之间)将一系列的能量序列脉冲传递至第二结晶晶种区域 708 的表面,且随后以长波长(例如介于约 800nm 至约 1064nm 之间)将一系列的能量序列脉冲传递至结晶晶种区域 408 的表面。或者,可在沉积第二绝缘层 702 之前,使用脉冲序列退火工艺处理第一非晶层 410,使得第二绝缘层 702 及第二结晶晶种层 708 形成在已经再结晶的第一非晶层 410 上。此外,虽然图示的电磁能量被传递至结晶晶种区域所在的地方,在一些实施例中,可以实质覆盖结构整个正表面的方式来传递电磁能量。

[0069] 虽然前述是针对本发明实施例,但可在不背离本发明的基本范围情况下,设计出其他及进一步的实施例,并且本发明的范围由以下的权利要求书确定。

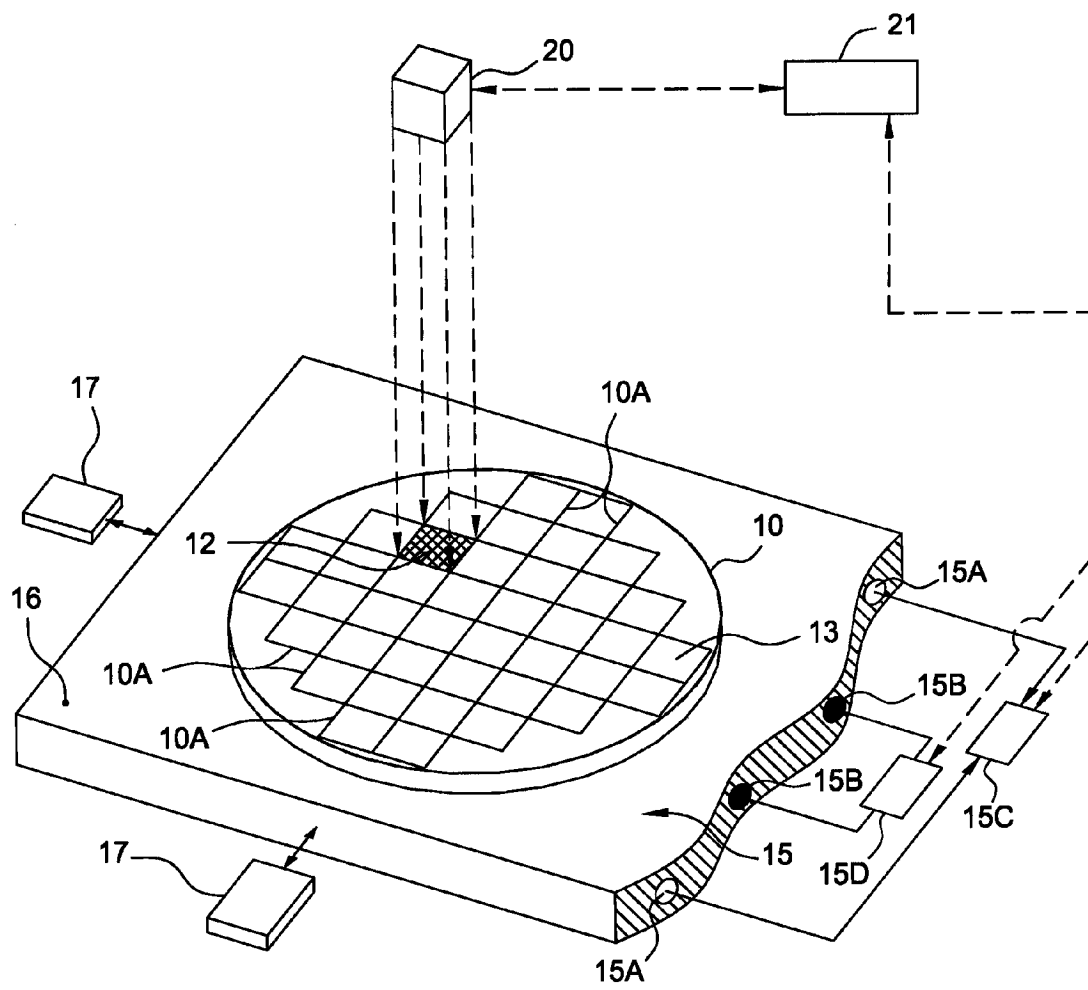


图 1A

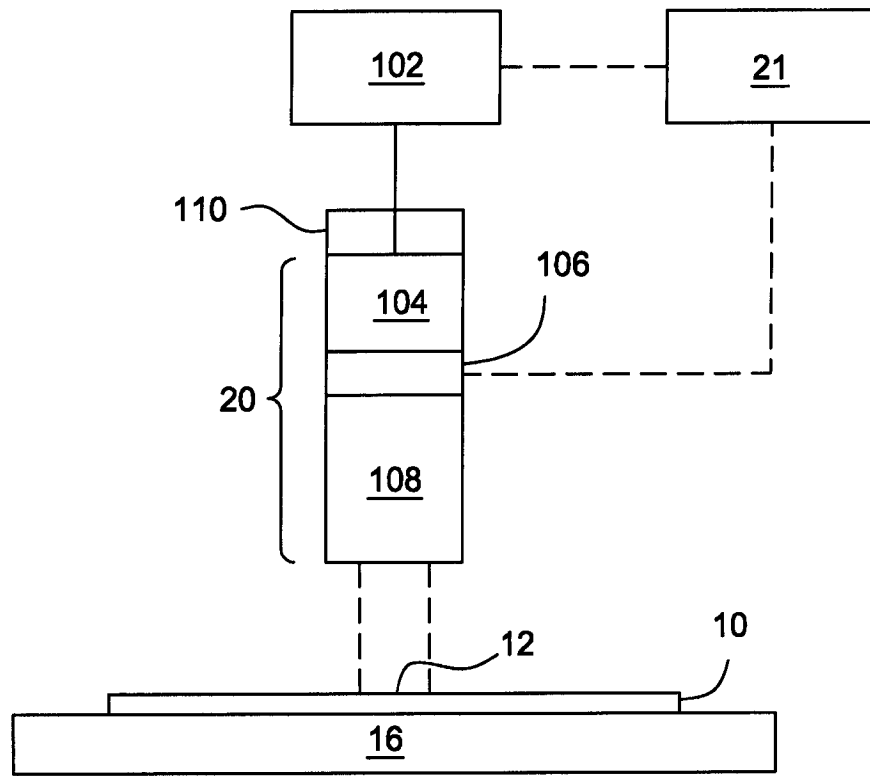


图 1B

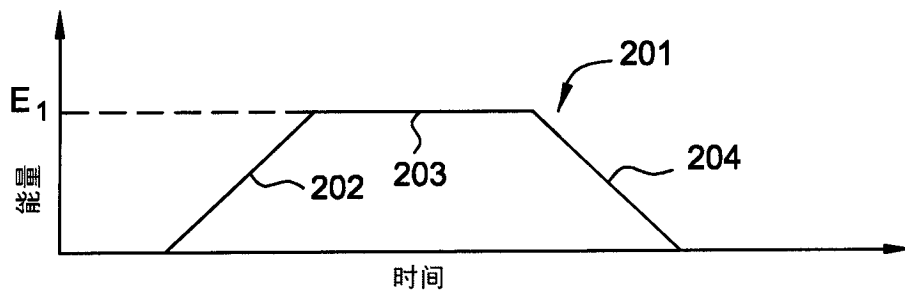


图 2A

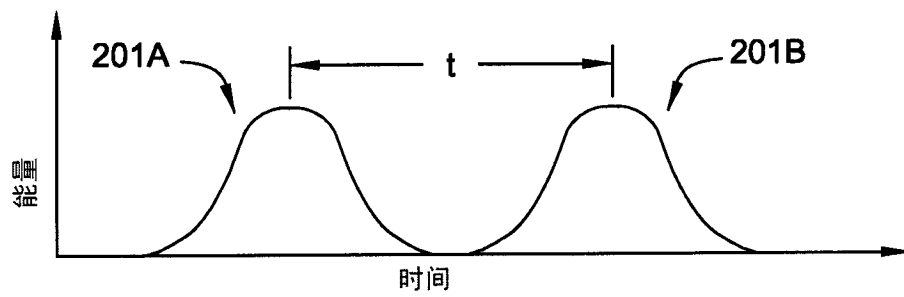


图 2B

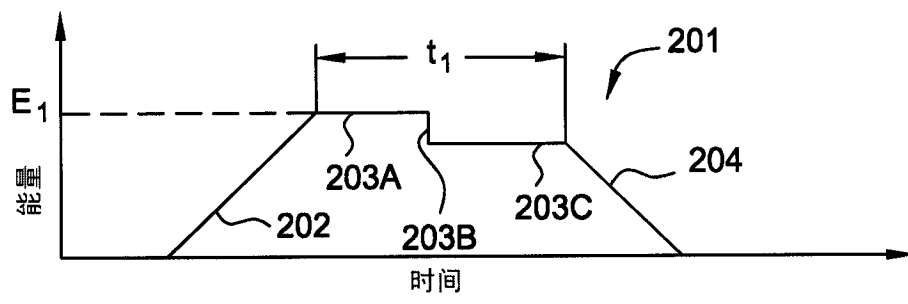


图 2C

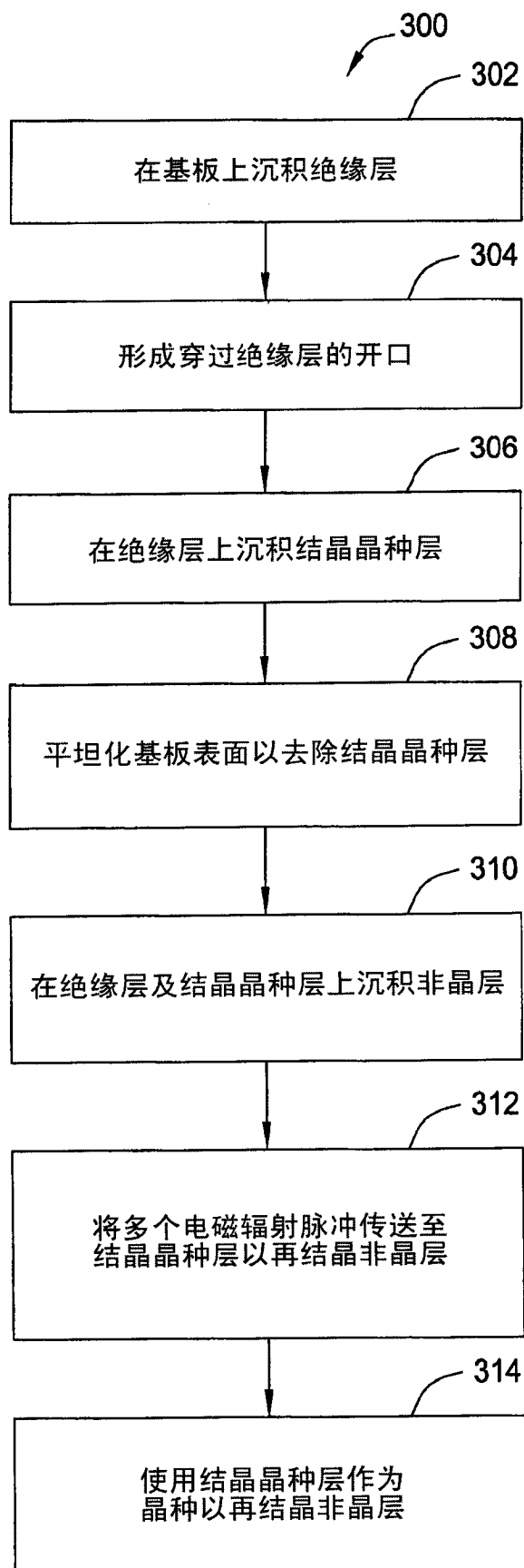


图 3

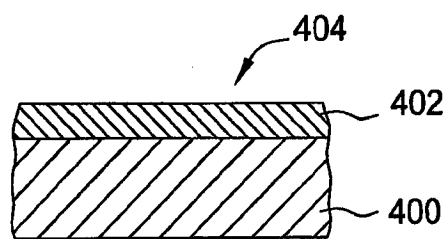


图 4A

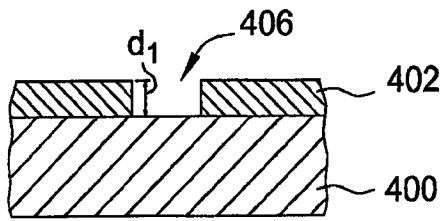


图 4B

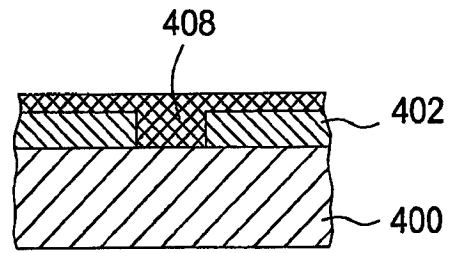


图 4C

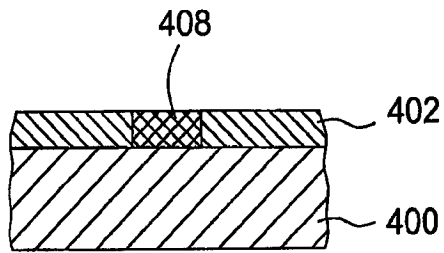


图 4D

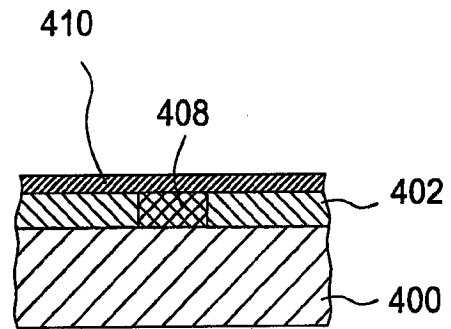


图 4E

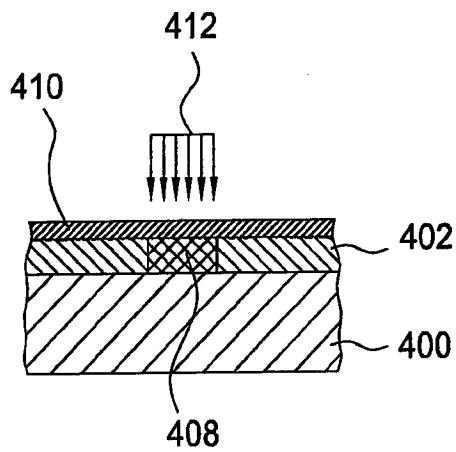


图 4F

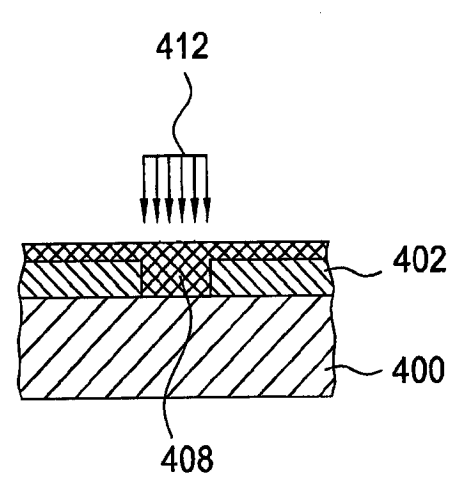


图 4G

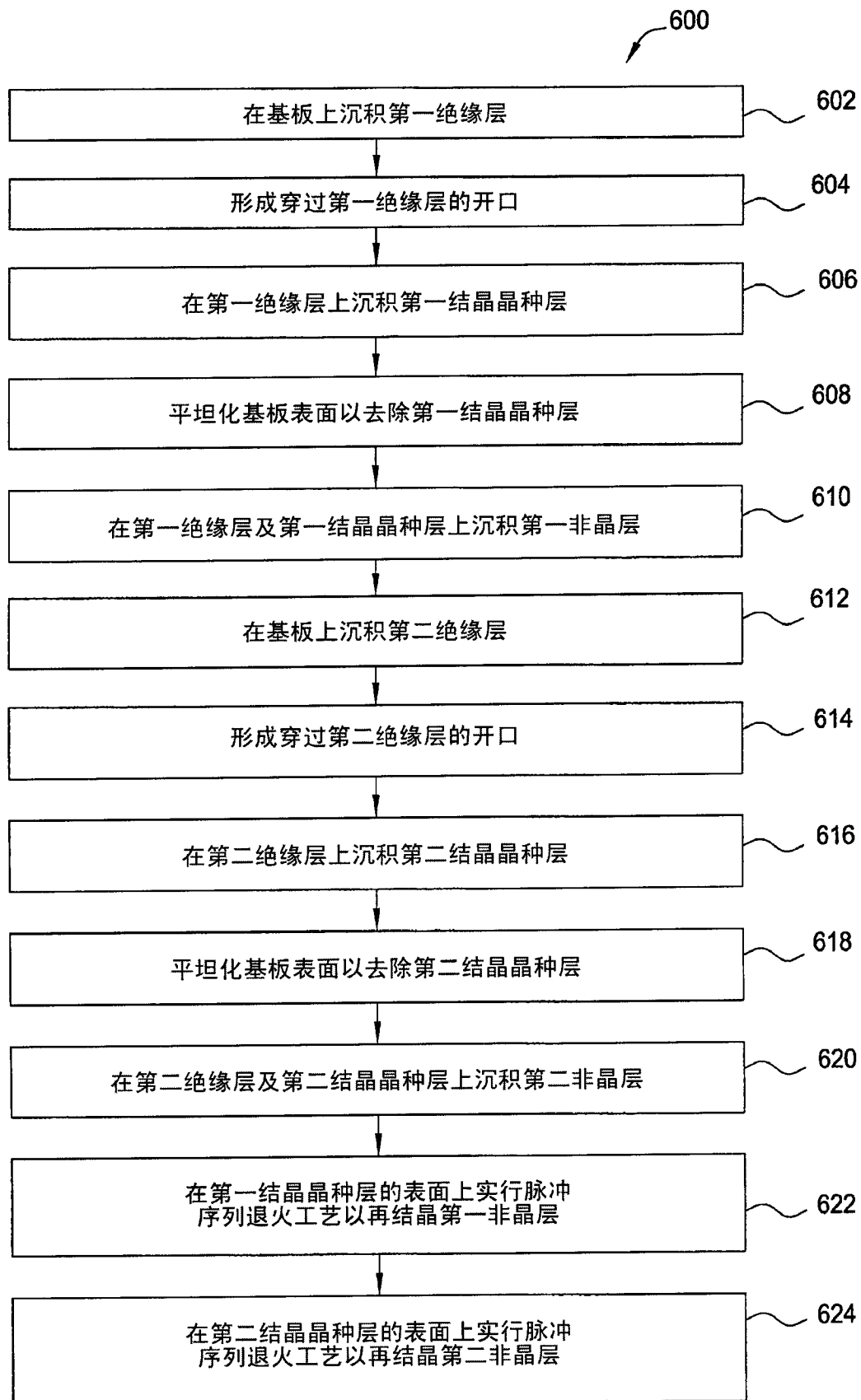


图 6

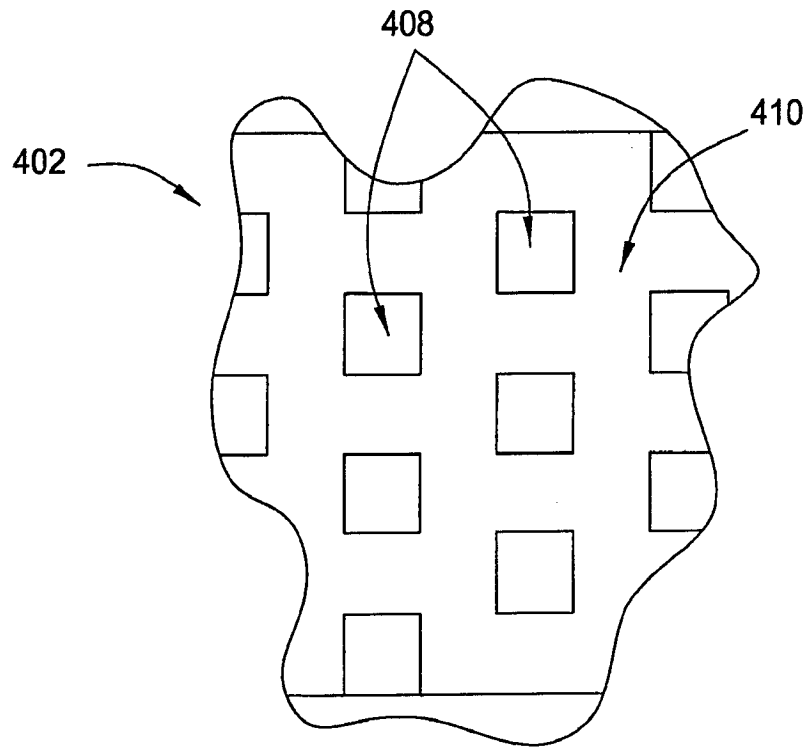


图 5

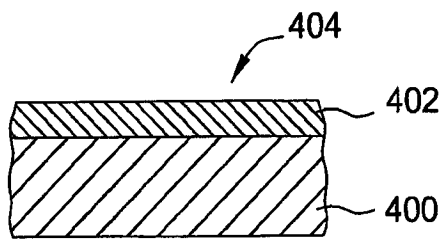


图 7A

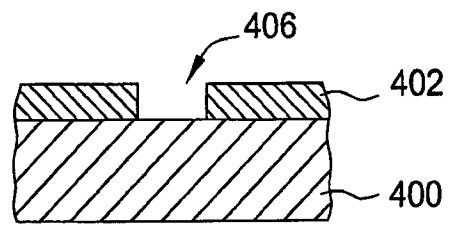


图 7B

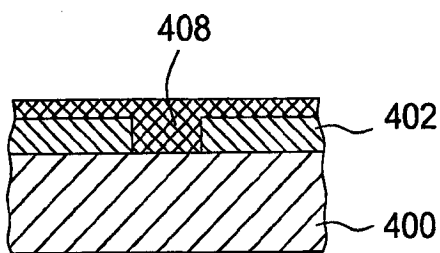


图 7C

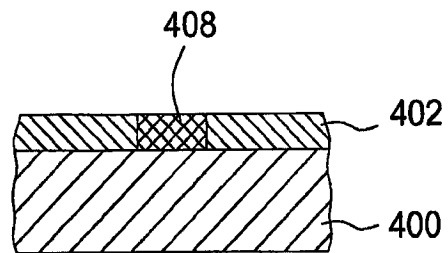


图 7D

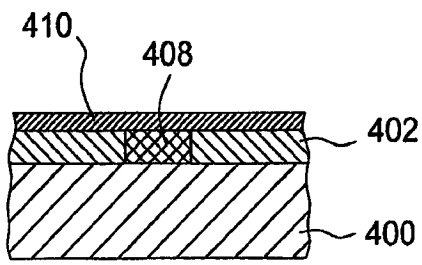


图 7E

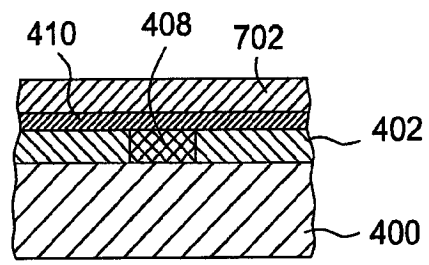


图 7F

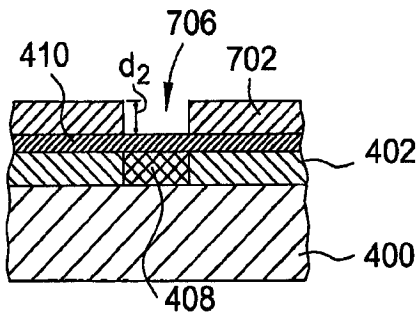


图 7G

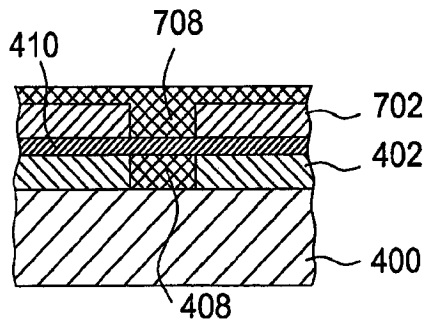


图 7H

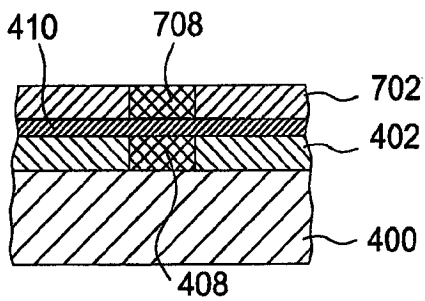


图 7I

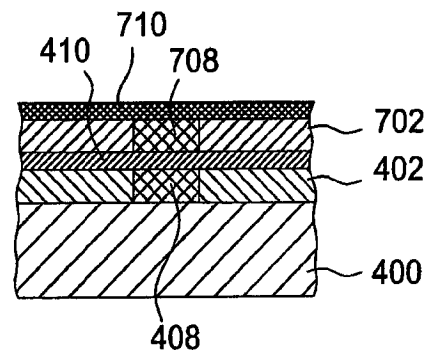


图 7J

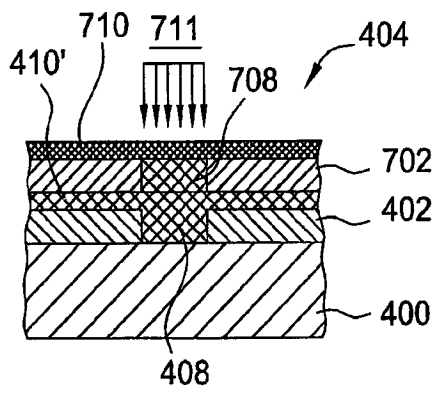


图 7K

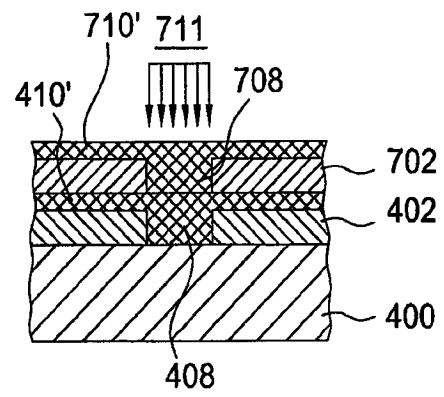


图 7L