



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105321591 A

(43) 申请公布日 2016.02.10

(21) 申请号 201510275760.8

(22) 申请日 2015.05.26

(30) 优先权数据

10-2014-0064011 2014.05.27 KR

(71) 申请人 三星电子株式会社

地址 韩国京畿道

(72) 发明人 文庚奭 金相壹 金世润 朴喜正

李孝锡 崔在荣

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 金拟燊

(51) Int. Cl.

H01B 1/10(2006.01)

H01B 1/06(2006.01)

C01B 19/04(2006.01)

H01L 51/52(2006.01)

权利要求书1页 说明书15页 附图5页

(54) 发明名称

导电薄膜和包括其的电子器件

(57) 摘要

公开导电薄膜和包括其的电子器件。所述导电薄膜包括由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物,其中,Me 为 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或者 Au,和 Ch 为硫、硒、碲、或其组合。化学式 1 :MeCh₂。

1. 导电薄膜,包括:

由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物:

化学式 1

MeCh_2

其中 Me 为 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或者 Au, 和 Ch 为硫、硒、碲、或其组合。

2. 权利要求 1 的导电薄膜,其在小于或等于 50nm 的厚度下对于具有 550nm 波长的光具有大于或等于 80%的透射率。

3. 权利要求 1 的导电薄膜,其中 Ch 为碲。

4. 权利要求 1 的导电薄膜,其中化学式 1 的化合物为 PdTe_2 、 AgTe_2 、 IrTe_2 、 PtTe_2 、 AuTe_2 、或其组合。

5. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述导电薄膜在其表面上不含氧化物层。

6. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述导电薄膜具有大于或等于 4300 西门子/厘米的电导率。

7. 权利要求 6 的导电薄膜,其中所述导电薄膜在围绕具有 10 毫米直径的棒弯曲 180° 之后具有这样的电导率:其为在所述弯曲前的电导率的 80% -100%。

8. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述导电薄膜具有小于或等于 30 欧姆/平方的对于具有 550nm 波长的光的吸收系数与电阻率值的乘积。

9. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述层状晶体结构属于六方晶系并且具有空间群 $\overline{\text{P}}3\text{m1}$ 。

10. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述化合物为单晶的。

11. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述导电薄膜包括多个包含化学式 1 的化合物的纳米片,和其中所述纳米片彼此接触以提供电连接。

12. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述导电薄膜为包含化学式 1 的化合物的连续的膜的形式。

13. 权利要求 1 的导电薄膜,其中所述导电薄膜具有小于或等于 50 纳米的厚度。

14. 电子器件,其包括权利要求 1-13 中任一项的导电薄膜。

15. 权利要求 14 的电子器件,其中所述电子器件为平板显示器、触摸屏面板、太阳能电池、电子视窗、电致变色镜、热镜、透明晶体管、或者柔性显示器。

导电薄膜和包括其的电子器件

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2014 年 5 月 27 日在韩国知识产权局提交的韩国专利申请 No. 10-2014-0064011 的优先权和权益,将其全部内容引入本文作为参考。

技术领域

[0003] 公开导电薄膜和包括其的电子器件。

背景技术

[0004] 例如平板显示器如液晶显示器 (LCD) 或发光二极管 (LED)、触摸屏面板、太阳能电池、透明晶体管等的电子器件包括导电薄膜,所述导电薄膜可为透明的。用于导电薄膜的材料可具有,例如,在可见光区域中大于或等于约 80% 的光透射率和小于或等于约 100 微欧姆-厘米 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) 的比电阻。对于导电薄膜目前可使用的氧化物材料包括氧化铟锡 (ITO)、氧化锡 (SnO_2)、氧化锌 (ZnO) 等。ITO 具有差的柔性并且由于铟的有限储量而可成本较高。因此,期望替代性材料的开发。此外,氧化锡和氧化锌具有低的导电性和差的柔性。

[0005] 为了开发作为下一代电子器件正在引起关注的柔性电子器件(例如能弯曲的或者能折叠的电子器件),需要用于具有高的透明性和优异的导电性的柔性且稳定的透明电极的材料开发。

发明内容

[0006] 一种实施方式提供具有高的导电性和优异的光透射率的柔性导电薄膜。

[0007] 另一实施方式提供包括所述导电薄膜的电子器件。

[0008] 在一种实施方式中,导电薄膜包括:由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物:

[0009] 化学式 1

[0010] MeCh_2

[0011] 其中 Me 为 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或 Au,和 Ch 为硫、硒、碲、或其组合。

[0012] 所述导电薄膜在小于或等于 50nm 的厚度下对于具有 550nm 波长的光可具有大于或等于约 80% 的透射率。

[0013] 由化学式 1 表示的化合物可为二碲化物化合物。

[0014] 由化学式 1 表示的化合物可包括 PdTe_2 、 AgTe_2 、 IrTe_2 、 PtTe_2 、 AuTe_2 、或其组合。

[0015] 在一种实施方式中,所述导电薄膜不包括表面氧化物层。

[0016] 所述导电薄膜可为单晶的。

[0017] 所述导电薄膜可具有大于或等于约 10,000 西门子/厘米 (S/cm) 的电导率。

[0018] 所述化合物可显示小于或等于约 30 欧姆/平方 (Ω/\square) 的(例如在 25°C 的温度下)对于具有 550nm 波长的光的吸收系数 (α) 与电阻率值 (ρ) 的乘积。

[0019] 所述层状晶体结构可属于六方晶系并且具有空间群 $\overline{\text{P}}\overline{3}\text{m}1$ (空间群号 164)。

[0020] 所述导电薄膜可包括多个包含所述化合物的纳米片,并且所述纳米片可彼此接触以提供电连接。

[0021] 所述导电薄膜可包括包含所述化合物的连续的膜。所述连续的膜可通过气相沉积形成。

[0022] 另一实施方式提供电子器件,其包括导电薄膜,所述导电薄膜包括由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物:

[0023] 化学式 1

[0024] MeCh_2

[0025] 其中 Me 为 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或者 Au,和 Ch 为硫、硒、碲、或其组合。

[0026] 所述电子器件可为平板显示器、触摸屏面板、太阳能电池、电子视窗 (e-window)、电致变色镜、热镜、透明晶体管、或者柔性显示器。

[0027] 在一种实施方式中,作为金属二硫属化物的由化学式 1 表示的化合物可与氧化铟锡 (ITO) 的电导率相当或者远比其大的电导率,并且同时可呈现出增强的在可见光区域中的光透射率。此外,所述金属二硫属化物为能剥落的层状材料并且可制备为具有增强的柔性的薄膜。此外,所述金属二硫属化物具有改善的氧化稳定性并且因此可提供基本上不具有表面氧化物层的薄膜。

[0028] 还公开制备导电薄膜的方法,所述方法包括:提供由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物:

[0029] 化学式 1

[0030] MeCh_2

[0031] 其中 Me 为 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或者 Au,和 Ch 为硫、硒、碲、或其组合;和将由化学式 1 表示的化合物剥落以制备所述导电薄膜。

附图说明

[0032] 通过参照附图更详细地描述本公开内容的示例性实施方式,本公开内容的以上和其它方面、优点和特征将变得更明晰,其中:

[0033] 图 1 为相对强度 (任意单位) 对衍射角 (两倍 θ 即 2θ , 度 ($^\circ$)) 的图并且为由实施例 1 制备的 PdTe_2 多晶烧结体的 X-射线衍射谱;

[0034] 图 2 为相对强度 (任意单位) 对衍射角 (两倍 θ 即 2θ , 度 ($^\circ$)) 的图并且为由实施例 1 制备的 PtTe_2 多晶烧结体的 X-射线衍射谱;

[0035] 图 3A 和 3B 显示实施例 3 中的通过 PtTe_2 多晶烧结体的机械剥落获得的剥落样品的透射电子显微镜分析的结果;

[0036] 图 4A-4C 显示实施例 3 的通过由 PtTe_2 多晶烧结体机械剥落而获得的剥落样品的能量色散 X-射线光谱分析的结果,其中图 4A 为扫描电子显微镜 (SEM) 图像,图 4B 为对于图 4A 中的位置 1,计数对能量 (千电子伏, keV) 的图,和图 4C 为对于图 4A 中的位置 2,计数对能量 (千电子伏, keV) 的图;

[0037] 图 5A 和 5B 为实施例 4 的通过由 PdTe_2 多晶烧结体机械剥落而获得的剥落样品的透射电子显微镜图像,其中图 5B 为图 5A 中所示的表面的放大图,表明不存在氧化物层;

[0038] 图 6A-6E 显示对比例 1 中的通过由 TiTe_2 多晶烧结体机械剥落而获得的剥落样品

的透射电子显微镜分析和能量色散 X-射线光谱分析的结果,其中图 6B-6D 为图 6A 的指示的部分的放大图,表明在下层中存在多晶层;和

[0039] 图 7 为包括导电薄膜的有机发光二极管器件的一种实施方式的横截面图。

具体实施方式

[0040] 参照以下示例性实施方式以及附于此的图,本公开内容的优点和特性以及其实现方法将变得明晰。然而,本公开内容可以许多不同的形式体现并且不被解释为限于本文中所述实施方式;相反,提供这些实施方式使得本公开内容将向本领域技术人员充分地传达本发明的范围。因此,在一些实施方式中,为了清楚起见,没有对公知的工艺和技术进行详细说明。如果未另外定义,说明书中的所有术语(包括技术和科学术语)可如本领域技术人员通常理解地那样定义。常用字典中定义的术语不可理想化或者扩大化地解释,除非清楚地定义。此外,除非明确地相反描述,词“包括”和变型例如“包含”或“含有”将被理解为暗示包含所述要素,但是不是排除任何其它要素。因此,在用于本说明书中时,术语“包括”和/或“包含”、或“含有”和/或“含”表明存在所述的特征、区域、整体、步骤、操作、元件和/或部件(组分),但是不排除存在或增加一个或多个其它特征、区域、整体、步骤、操作、元件、部件(组分)、和/或其集合。

[0041] 此外,单数包括复数,除非另外提及。因此,单数形式“一个(种)(a, an)”和“该(所述)”意图包括复数形式(包括“至少一个(种)”),除非上下文清楚地另外指明。

[0042] 在附图中,为了清楚起见,放大层、区域等的厚度。在整个说明书中,相同的附图标记表示相同的元件。

[0043] 将理解,当一个元件例如层、膜、区域、或基底被称作“在”另外的元件“上”时,其可直接在所述另外的元件上或者还可存在中间元件。相反,当一个元件被称作“直接在”另外的元件“上”时,不存在中间元件。

[0044] 本文中所使用的术语仅用于描述具体实施方式的目的,且不意图为限制性的。“或”意味着“和/或”。如本文中使用的,术语“和/或”包括相关列举项目的一个或多个的任意和全部组合。

[0045] 此外,在本文中可使用相对术语例如“下部”或“底部”和“上部”或“顶部”来描述如图中所示的一个元件与另外的元件的关系。将理解,除图中所示的方位以外,相对术语还意图涵盖器件的不同方位。例如,如果将图之一中的器件翻转,描述为在其它元件的“下部”侧上的元件则将定向在其它元件的“上部”侧上。因此,取决于图的具体方位,示例性术语“下部”可涵盖“下部”和“上部”两种方位。类似地,如果将图之一中的器件翻转,描述为“在”其它元件“下面”或“之下”的元件则将定向“在”其它元件“上方”。因此,示例性术语“在... 下面”或“在... 之下”可涵盖在... 上方和在... 下面两种方位。

[0046] 如本文中使用的“约”或“大约”包括所述值并且意味着在如由本领域普通技术人员考虑到所讨论的测量以及与具体量的测量有关的误差(即,测量系统的限制)而确定的对于具体值的可接受的偏差范围内。例如,“约”可意味着在一种或多种标准偏差范围内。

[0047] 在本文中参照作为理想化实施方式的示意图的横截面图描述示例性实施方式。这样,将预计到由例如制造技术和/或公差导致的与图示的形状的偏差。因此,本文中描述的实施方式不应解释为局限于如本文中所图示的区域的特定形状,而是包括由例如制造导致

的形状上的偏差。例如，图示或描述为平坦的区域可典型地具有粗糙和 / 或非线性特征。此外，图示的尖锐的角可为圆形的。因而，图中所示的区域在本质上是示意性的，并且它们的形状不意图图示区域的精确形状，并且不意图限制本权利要求的范围。

[0048] 在一种实施方式中，导电薄膜包括由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物：

[0049] 化学式 1

[0050] MeCh_2

[0051] 其中 Me 为 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或 Au，和 Ch 为硫、硒、碲、或其组合。

[0052] 所述化合物可为二碲化物化合物，并且因此 Ch 可为碲。所述化合物可包括 PdTe_2 、 AgTe_2 、 IrTe_2 、 PtTe_2 、 AuTe_2 、或其组合。在一种实施方式中，所述导电薄膜基本上不含表面氧化物层。例如，所述导电薄膜包括包含由化学式 1 表示并且具有层状晶体结构的化合物的纳米片，其中所述纳米片不含表面氧化物层。所述导电薄膜可包括单晶化合物、多晶化合物、或其组合。

[0053] 在一种实施方式中，所述导电薄膜可具有高的电导率以及高的光透射率水平，并且因此可有利地用于重视高的导电性和高的透明性的应用（例如，透明电极）。举例来说，所述导电薄膜在小于或等于 50nm 的厚度下对于在 550 纳米 (nm) 波长处的光可具有大于或等于约 80%、例如大于或等于约 85%、或者大于或等于约 90%、约 80% - 约 99%、或者约 85% - 约 98% 的光透射率。与这样的高的光透射率水平一起，所述导电薄膜可具有相对高的电导率水平，例如，大于或等于约 10,000 西门子 / 厘米 (S/cm)、约 $1 \times 10^4 \text{S/cm}$ - 约 $1 \times 10^6 \text{S/cm}$ 、或者约 $5 \times 10^4 \text{S/cm}$ - 约 $5 \times 10^5 \text{S/cm}$ 的电导率。

[0054] 过渡金属二硫属化物（下文中也称作 TMDC）可具有与半导体的电导率相当的电导率，但是它们被公认为不透明材料，因此，仅进行了少许尝试来将它们用作透明导电薄膜。例如，存在制备在可见光区域中显示出高透射率的非常薄的过渡金属二硫属化物膜（具有几纳米的厚度）的尝试。然而，所述过渡金属二硫属化物趋向于在经由剥落工艺制备为纳米片时易于氧化。因此，所得材料的电性质可不利地且急剧地降低。因此，即使所述过渡金属二硫属化物可形成纳米片，也一直难以获得包括所述过渡金属二硫属化物的透明导电薄膜。相反，包括具有层状晶体结构的化学式 1 的二硫属化物化合物的纳米片可具有与其它过渡金属二硫属化物化合物相比大大增强的氧化稳定性，并且因此可具有改善的剥落性质并且可制备为纳米片而没有显著氧化。因此，根据一种实施方式，由其制备的导电薄膜不含或者未显著地包含表面（或者内部）氧化物层。在一种实施方式中，基于所述导电薄膜的总重量，所述导电薄膜的氧化物含量可小于约 2 重量%，例如小于约 1 重量%，小于约 0.1 重量%，为约 0.001 重量百分比（重量%）- 约 2 重量%、约 0.005 重量% - 约 1 重量%、或者约 0.01 重量% - 约 0.1 重量%。

[0055] 在一种实施方式中，所述导电薄膜可具有大于或等于约 4000S/cm 例如大于或等于约 5000S/cm、大于或等于约 6000S/cm、大于或等于约 7000S/cm、大于或等于约 10,000S/cm、或者甚至大于或等于约 30,000S/cm、或者约 $4 \times 10^3 \text{S/cm}$ - 约 $1 \times 10^6 \text{S/cm}$ 、或者约 $8 \times 10^4 \text{S/cm}$ - 约 $5 \times 10^5 \text{S/cm}$ 的相对高的电导率水平。

[0056] 为了开发具有改善的导电性并且在可见光范围中为透明的柔性的透明电极材料，已经进行了各种各样的努力。金属可具有高的电子密度和高的电导率。然而，大多数金属

趋向于与空气中的氧气反应以在它们的表面上形成氧化物并且因此在与空气接触时呈现大大降低的电导率。此外,存在使用具有良好的导电性并且显示出减少的表面氧化的陶瓷材料来降低表面接触电阻的尝试。然而,目前可获得的导电陶瓷材料(例如ITO)具有原材料的供应不稳定的困难。此外,它们可无法提供与金属的电导率相当的电导率并且它们的柔性往往是差的。

[0057] 相反,所公开的包括化学式 1 的化合物的导电薄膜提供高的导电性和高的透明性以及高的氧化稳定性水平。此外,化学式 1 的化合物具有层状晶体结构。在这样的结构中,单元结构层经由范德华力彼此连接并且因此可经历层之间的滑动,并且可经由机械剥落或液相剥落将它们制备为纳米片。因此,一些实施方式的导电薄膜可提供适合于在柔性电子器件中的应用的改善的柔性水平。

[0058] 化学式 1 的化合物可具有小于或等于约 30 欧姆/平方 (Ω/\square) 的在 25°C 下对于具有 550nm 波长的光的吸收系数 (α) 与电阻率值 (ρ) 的乘积。吸收系数和电阻率可由计算机模拟获得。电阻率 (ρ) 可通过由相应的稀土元素硫属化合物化合物的晶体结构计算费米能级附近的能带 (带, band) 结构和态密度 (DOS) 而获得。此外,对于某一波长的吸收系数 (α) 可由所述化合物的介电常数计算,所述介电常数是通过应用 Drude 模型和考虑由于带间跃迁引起的电子跃迁而获得的。对于用于提供吸收系数 (α) 和电阻率 (ρ) 的模拟方法,可进一步参见 Vienna Ab-initio Simulation Package (由 Georg Kresse 和 Jurgen Furthmuller 编写, Institut fur Materialphysik, Universitat Wien, Sensengasse 8, A-1130Wien, Austria, 2005 年 8 月 24 日, <http://cms.mpi.univie.ac.at/VASP/>), 将其全部引入本文作为参考。前述模拟程序总结于表 1 中。

[0059] 表 1

[0060]

计算	模拟水平	计算/模拟
原子电子结构	DFT	结构优化 能带结构计算
导电特性	半经典 玻尔兹曼 输运(常数 τ)	带内跃迁 $\sigma \approx (e^2/4\pi^3)\tau \int dk v(k) v(k) (-\partial f/\partial \epsilon)$ $= ne^2 \tau / m_{\text{eff}} = ne \mu$ $\rho = 1/\sigma$
介电特性	DFPT + Drude 模型	带间跃迁 $\epsilon(\omega) = \epsilon_D(\omega) + \epsilon_B(\omega) = \epsilon_I(\omega) + i\epsilon_2(\omega)$
光学特性	射线光学	$n(\omega) + ik(\omega) = \epsilon(\omega)^{1/2}$ 吸收系数 $\alpha = 4\pi k/\lambda$
计算 $\rho\alpha$		

[0061] 在表 1 中,使用了以下缩写:

[0062] DFT:密度泛函理论;

[0063] DFPT:密度泛函微扰理论;

[0064] Drude 模型:用于固体的自由电子模型;

[0065] σ 、 τ 、 m_{eff} 、 μ 、 ρ :电导率、驰豫时间、有效质量、迁移率、电阻率。

[0066] 下文中,更详细地说明表 1 的描述。

[0067] 为了计算材料的量子力学状态,进行基于密度泛函理论(DFT)方法(通过使用电子密度函数代替波函数来描述电子分布而解量子力学方程的方法)的第一性原理计算(由基本方程在不使用外来参数的情况下进行的计算)以计算电子的量子力学状态。使用 VASP(Vienna Ab initio simulation package 代码,其为第一性原理 DFT 代码)计算电子状态。从 Inorganic Crystal Structure Database(ICSD)选择包括二维电子气体(2DEG)层的候选材料组。输入候选材料的原子结构信息且通过模拟可计算电子的能级,并且对于这样的电子,计算在电子的 k -空间上的态密度函数和能量密度函数。

[0068] 通过该 DFT 计算机模拟计算的电子结构提供 E - k 图(能带结构)和 DOS(态密度:电子态密度,每能量单位的电子态密度函数)信息,使得可确定所给材料是金属性导电材料($\text{DOS}(E_F) > 0$)还是半导体材料($\text{DOS}(E_F) = 0$),这取决于在电子可利用的最大能级(E_F)上 DOS 的存在。

[0069] 为了预测金属性导电材料的电导率(σ),通过引入半经典玻尔兹曼输运模型而估计其导电特性。在此情况下,假定电子的驰豫时间(τ :在其期间电子可运动而没有碰撞的持续时间)为常数(参见 N. W. Ashcroft 和 N. D. Mermin, Solid State Physics, Holt, Rinehart and Winston, 1976,将其内容全部引入本文作为参考)。

[0070] 玻尔兹曼输运

$$[0071] \quad \sigma = (e^2/4\pi^3) \tau \int dk v(k) v(k) (-\partial f/\partial E)$$

[0072] 此处, τ 为电子的驰豫时间, k 为在 k -空间中电子的状态, $v(k)$ 为在 k 状态下电子的速度, f 为费米-狄拉克分布函数,和 E 为能量。在此情况下, $v(k)$ 可从 E - k 图计算,并且 σ/τ 可从上式获得。

[0073] 决定导电材料的透射和吸收的机理可包括由于自由电子的等离子体状振荡而引起的带内吸收和由于束缚电子的带到带跃迁而引起的带间吸收。可通过如表 2 中阐述的方法获得考虑所述机理的每一个的量子计算模拟方法(参见 N. W. Ashcroft 和 N. D. Mermin, Solid State Physics, Holt, Rinehart and Winston, 1976)。

[0074] 表 2 - 对于光学性质的模拟表

[0075]

步骤(STEP)	范畴	计算	结果	方法(工具)
1	光学模拟	带间跃迁	$\epsilon B(\omega) = \epsilon B1(\omega) + i \epsilon B2(\omega)$	DFT (VASP)
2	光学模拟	等离子体频率 带内跃迁	$\epsilon D(\omega) = \epsilon D1(\omega) + i \epsilon D2(\omega)$	玻尔兹曼输运 DFT (VASP) 或后处理
3	光学模拟	总介电常数 折射率		后处理
4	光学模拟	反射率 吸收系数	等离子体频率 反射率 吸收系数 透射率	后处理

[0076] 此处, B 表示能带, 和 D 表示 Drude 模型。

[0077] 在此情况下, 固体的介电常数 (ϵ)、折射率 (n) 和吸收系数 (α) 的关系如下所示。对于介电常数, 应考虑与带间跃迁有关的部分 ($\epsilon_{(能带)}$) 和与带内跃迁有关的部分 ($\epsilon_{(Drude)}$) 两者。

[0078] $\epsilon(\omega) = \epsilon_{(Drude)} + \epsilon_{(能带)}$

[0079] $= \epsilon_1(\omega) + i \epsilon_2(\omega)$ 介电函数

[0080] $(n+ik)^2 = \epsilon(\omega)$ 折射函数

[0081] $\alpha(\omega) = 4\pi k / \lambda$ 吸收系数

[0082] 如在以上电导率计算中所阐述的那样, 带间吸收可通过预先计算的能带结构计算, 而由自由电子引起的带内吸收是如以下通过基于 Drude 建模的电导率和光学系数计算的模拟而计算的 (参见 Jinwoong Kim, Journal of Applied Physics 110, 083501 2011, 将其内容全部引入本文作为参考)。

[0083] CGS 单位

[0084] $\sigma(\omega) = \sigma_0 / [1 - i\omega\tau]$ AC 电导率

[0085] $\sigma_0 = ne^2\tau / m$ DC 电导率

[0086] $\epsilon(\omega) = 1 + i(4\pi/\omega)\sigma(\omega)$

[0087] $\omega_p^2\tau = \sigma_0 / \epsilon_0$ (SI)

[0088] $= 4\pi\sigma_0$ (CGS)

[0089] $\epsilon(\omega) = 1 + i(4\pi/\omega)\sigma_0 / [1 - i\omega\tau] = 1 - (4\pi\sigma_0/\omega) / [1 + \omega\tau]$

[0090] $= 1 - (4\pi\sigma_0/\omega)(-i + \omega\tau) / [1 + (\omega\tau)^2]$

[0091] $= 1 - (\omega_p\tau)^2 / [1 + (\omega\tau)^2]$

[0092] $+ i(\omega_p\tau)^2 / [1 + (\omega\tau)^2]$

[0093]

$$\epsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^2 r^2}{1 + \omega^2 r^2}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\omega_p^2 r^2}{\tau \omega (1 + \omega^2 r^2)}$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{2}} (\epsilon_1 + (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)^{1/2})^{1/2}$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} (-\epsilon_1 + (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)^{1/2})^{1/2}$$

[0094] ω :频率

[0095] ω_p :等离子体频率

[0096] k :消光系数

[0097] 照此,带间吸收和带内吸收的计算使得可计算所给材料的介电函数,并且可由此模拟其光学常数。最后,可由此计算所给材料的折射率(R)、吸收系数(α)、和透射率(T)。

[0098] 根据前述方法,多种金属二硫属化物的吸收系数(α)与电阻率(ρ)的乘积汇集于表3中。

[0099] 表3

[0100]

组成	ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	α ($1/\text{cm}$)	$\alpha\rho$ (Ω/\square)	$R_s(\Omega/\square)$, 在>0.90的透射率下
CuTe ₂	1.07x10 ⁻⁵	6.9x10 ⁵	7.402	70.0
RuTe ₂	2.22x10 ⁻⁵	6.5x10 ⁵	14.449	137.1
RhTe ₂	1.59x10 ⁻⁵	7.2x10 ⁵	11.494	109.1
PdTe ₂	1.59x10 ⁻⁵	7.9x10 ⁵	12.631	119.9
AgTe ₂	1.28x10 ⁻⁵	6.9x10 ⁵	8.877	84.3
OsTe ₂	2.25x10 ⁻⁵	5.0x10 ⁵	11.272	107.0
IrTe ₂	1.84x10 ⁻⁵	6.0x10 ⁵	11.126	105.6
PtTe ₂	2.80x10 ⁻⁵	8.8x10 ⁵	24.626	233.7
AuTe ₂	1.02x10 ⁻⁵	6.3x10 ⁵	6.392	60.7
CuSe ₂	1.01x10 ⁻⁵	7.1x10 ⁵	7.130	67.7
RuSe ₂	3.05x10 ⁻⁵	5.0x10 ⁵	15.151	143.8
RhSe ₂	1.96x10 ⁻⁵	6.7x10 ⁵	13.146	124.8
PdSe ₂	2.16x10 ⁻⁵	9.2x10 ⁵	19.860	188.5

[0101]

AgSe ₂	1.03x10 ⁻⁵	6.9x10 ⁵	7.142	67.8
OsSe ₂	2.35x10 ⁻⁵	3.2x10 ⁵	7.397	70.2
IrSe ₂	2.41x10 ⁻⁵	3.9x10 ⁵	9.302	88.3
AuSe ₂	8.52x10 ⁻⁶	6.5x10 ⁵	5.502	52.2
TiTe ₂	4.44x10 ⁻⁵	4.0x10 ⁵	17.624	167.3

[0102] 根据方程,电阻率(ρ)与吸收系数(α)的乘积可表示薄层电阻(R_s)与(-lnT)的乘积,其中T表示透射率。因此,对于导电薄膜的材料而言,具有较低的 $\rho * \alpha$ 值的化合物可为有利的。

[0103] $e^{-\alpha t} = T$ (即, $\alpha t = -\ln T$)

[0104] $R_s = \rho / t$

[0105] $\therefore \rho * \alpha = R_s * (-\ln T)$

[0106] α :吸收系数

[0107] ρ :电阻率

[0108] T :透射率 (在 $\lambda = 550\text{nm}$ 处)

[0109] t :厚度

[0110] R_s :薄层电阻

[0111] 根据所述实施方式的导电薄膜中包括的所述化合物可具有小于或等于约 30、例如小于或等于约 20、或者约 1-约 30、或者约 2-约 25 的吸收系数与电阻率的乘积 (即, $R_s * (-\ln T)$), 以提供具有高的导电性和优异的透明性 (即, 低的薄层电阻和高的光透射率) 的导电薄膜。

[0112] 根据一种实施方式的导电薄膜包括包含金属 (即, Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或 Au) 和非金属元素 (即, 硫、硒、碲、或其组合) 的无机材料并且即使在薄的厚度下也可具有非常高的导电性。不希望受任何具体理论束缚, 认为, 由于上述导电薄膜包括在层状晶体结构中二维受限的电子, 并且即使在具有小的厚度的非常薄的膜中所述电子也可以高的迁移率运动, 因此上述导电薄膜可呈现出非常高的导电性与高的透明性。

[0113] 此外, 包括所述具有层状晶体结构的化合物的所述导电薄膜可经历层间滑动以提供改善的柔性。根据一种实施方式, 由化学式 1 表示的稀土硫属化合物化合物的层状晶体结构可属于具有空间群 $P\bar{3}m1$ (空间群号 164) 的六方晶系。

[0114] 根据一种实施方式, 所述导电薄膜可通过如下制备: 准备化学式 1 的金属二硫属化合物化合物的原材料、由其制备的多晶或单晶块状材料、或者由所述块状材料获得的粉末; 并且用所述原材料、所制备的块状材料、或者其粉末进行合适的方法例如气相沉积等, 以形成导电薄膜 (例如, 透明导电层)。替代地, 所述导电薄膜可通过如下获得: 将所述块状材料的粉末进行液相剥落以提供纳米片, 和将所获得的纳米片形成为薄膜。

[0115] 所述金属二硫属化合物化合物的原材料可包括各元素或者包含各元素的化合物。例如, 原材料可包括单质 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或 Au, 或者包含 Ru、Os、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、或 Au 的化合物。例如, 原材料可包括硫、硒、碲、或其组合。根据一种实施方式, 原材料可为以上金属与硫、硒、碲、或其组合的化合物。

[0116] 所述多晶块状材料可由以上原材料使用石英安瓿方法、电弧熔融方法、固态反应方法等制备。例如, 石英安瓿方法包括将原材料引入到石英管或者由金属制成的安瓿中, 将其在真空下密封, 和对其进行加热以进行固相反应或熔融过程。电弧熔融方法包括将原材料元素引入到腔室中, 在惰性气体 (例如, 氮气、氩气等) 气氛下进行电弧放电过程以使原材料元素熔融, 和使其凝固。固态反应方法可包括将原材料粉末混合; 将所得混合物造粒且然后热处理, 或者将其热处理且然后造粒; 和最后对由此制备的粒料进行烧结。

[0117] 所获得的多晶块状材料可经历烧结过程以产生高度致密化的产物。所述高度致密化的产物可用作用于测量电导率的试样。这样的致密化过程可通过热压方法、火花等离子体烧结方法、热锻造方法等进行。所述热压方法包括将粉末状化合物施加到具有预定形状的模具中, 和将其在例如约 300°C - 约 800°C 的高温下在例如约 1 兆帕斯卡 (MPa) - 约 300

兆帕斯卡 (MPa) (例如, 30MPa- 约 300MPa) 的高压下成型。所述火花等离子体烧结方法包括向粉末状化合物在高的压力下施加高的电压电流, 例如, 在约 30MPa- 约 300MPa 的压力下施加约 50 安培 (A) - 约 500A 的电流, 以将材料在短的时间内烧结。所述热锻造方法可包括将粉末化合物在例如约 300°C - 约 700°C 的高温下压缩和烧结。

[0118] 所述单晶材料可通过如下而获得: 通过单晶的生长而制备晶锭。所述晶锭可通过如下获得: 将相合的 (congruent) 熔融材料加热至高于所述材料的熔点的温度, 然后将其缓慢冷却。例如, 可将原材料混合物引入到石英安瓿中, 在将所述安瓿在真空下密封之后使所述原材料混合物熔融, 然后将熔融的混合物缓慢冷却以提供晶锭。可通过选择熔融的混合物的冷却速度选择晶粒尺寸。单晶的生长可通过金属熔剂方法、Bridgman 方法、光学浮区方法、气相传输 (vapor transport) 方法等进行。金属熔剂方法是包括如下的方法: 将原材料粉末在坩埚中与额外的熔剂一起在高温下熔融, 并将其缓慢冷却以在预定温度下生长晶体。Bridgman 方法包括将原材料元素引入到坩埚中并将其在高温下加热直至在坩埚的末端处原材料元素融化, 然后使高温区缓慢地移动并且使样品局部地融化以使整个样品通过所述高温区, 以生长晶体。光学浮区方法是包括如下的方法: 将原材料元素成型为棒状籽晶棒 (seed rod) 和进料棒 (feed rod), 通过将灯光聚焦在进料棒上而使样品在高温下局部熔融, 并将熔融的部分缓慢地向上拉以生长晶体。气相传输方法包括将原材料元素引入到石英管的底部部分中, 并且对所述原材料元素进行加热, 并将所述石英管的上部部分保持为低温, 以用蒸发的原材料元素在低温下进行固相反应并由此生长晶体。所获得的单晶材料的电导率可根据 DC 4- 端子方法测量。

[0119] 可将所获得的多晶或单晶块状材料粉碎以提供结晶粉末。所述粉碎可通过任何合适的方法例如球磨进行, 而没有特别限制。在粉碎之后, 可使用例如筛子提供具有均匀尺寸的粉末。

[0120] 使用所获得的多晶或单晶块状材料作为气相沉积的靶等, 以提供包括所述化合物的薄的连续的膜 (即, 导电薄膜)。所述气相沉积可通过物理气相沉积方法例如热蒸发、溅射、化学气相沉积 (CVD)、原子层沉积 (ALD)、或脉冲激光沉积进行。所述沉积可使用任何合适的已知的或者市售的设备进行。沉积条件可随着化合物的类型以及沉积方法而改变, 但是没有特别限制。

[0121] 根据另一实施方式, 可使以上化合物的块状材料或者其粉末经历液相剥落以提供多个纳米片, 然后使所述多个纳米片彼此接触以提供电连接, 由此提供导电薄膜。

[0122] 在液相剥落中, 可使所述块状材料或其粉末经历在合适溶剂中的超声处理。适合于液相剥落的溶剂的实例可包括, 但不限于, 水、醇 (例如, 异丙醇、乙醇、或甲醇)、N- 甲基吡咯烷酮 (NMP)、己烷、苯、二氯苯、甲苯、氯仿、二乙醚、二氯甲烷 (DCM)、四氢呋喃 (THF)、乙酸乙酯 (EtOAc)、丙酮、二甲基甲酰胺 (DMF)、乙腈 (MeCN)、二甲亚砜 (DMSO)、碳酸亚乙酯、碳酸亚丙酯、 γ - 丁内酯、 γ - 戊内酯、全氟化的芳族溶剂 (例如, 六氟苯、八氟甲苯、五氟苜蓿、和五氟吡啶)。可使用包括以上溶剂的至少两种的组合。

[0123] 所述溶剂可进一步包括添加剂例如表面活性剂以促进剥落和防止剥落的纳米片附聚。所述表面活性剂的实例可包括十二烷基硫酸钠 (SDS) 和十二烷基苯磺酸钠 (SDBS)。

[0124] 所述超声处理可使用任何合适的可获得超声处理设备, 并且其条件 (例如, 超声处理时间) 没有特别限制, 但可考虑所使用的溶剂和在所述溶剂中的粉末浓度而

适当地选择。例如,所述超声处理可进行大于或等于约 1 小时,例如,约 1 小时-约 100 小时,但是不限于此。所述溶剂中的粉末浓度可大于或等于约 0.01 克/毫升 (g/mL),例如,在约 0.01g/mL-约 1g/L 的范围内,但是不限于此。

[0125] 为了促进剥落,可使锂原子嵌入到所述具有层状晶体结构的化合物中。根据一种实施方式,将所述化合物与包括在脂族烃溶剂例如己烷中的烷基锂化合物(例如,C2-C8 烷基锂化合物例如丁基锂)的溶液接触,例如浸渍于所述溶液中,以使锂原子嵌入到所述化合物中,和使所获得的产物经历超声处理以提供多个包括所述化合物的纳米片。例如,通过将所获得的产物置于水中,水和所嵌入的锂离子可反应以在所述晶体结构的层之间产生氢气,从而加速层间分离。将所获得的纳米片根据合适的方法(例如,离心)分离并且对其进行洗涤。

[0126] 在包括所述纳米片(例如,纳米薄片)的导电薄膜中,所述纳米片彼此物理接触以提供电连接。当所述纳米片物理接触以形成薄膜时,所制备的膜可提供增强的透射率。纳米片的长度没有特别限制,并且可适当地选择。例如,所述纳米片可具有小于或等于约 500 μm 例如约 10nm-约 500 μm 、或者约 20nm-约 50 μm 、约 10nm-约 10 μm 的长度,但是不限于此。所述纳米片可具有小于或等于约 100nm、约 1nm-约 100nm、或者约 2nm-约 80nm 的厚度,但是不限于此。所获得的膜可具有大于或等于约 50%、约 50%-100%、或者约 55%-约 98% 的覆盖率,基于所述膜设置在其上的基底的总面积。所获得的膜在厚度小于或等于约 20nm 例如小于或等于约 5nm、为约 1nm-约 50nm、或约 2nm-约 40nm 时对于具有 550nm 波长的光可具有高的透射率,例如,大于或等于约 80%、或者大于或等于约 85%、或者约 80%-100%、或者约 85%-约 98% 的透射率。在一种实施方式中,所述导电薄膜的厚度可为约 1nm-约 50nm、约 2nm-约 40nm、或者约 3nm-约 30nm。所述导电薄膜可具有约 0.01 千兆帕斯卡 (GPa)-约 10GPa、约 0.05GPa-约 8GPa、约 0.1GPa-约 6GPa、或者约 0.5GPa-约 4GPa 的杨氏模量即拉伸模量。而且,所述导电薄膜在被折曲(弯曲)之后可保持其导电性质。例如,当设置在合适的基底例如聚对苯二甲酸乙二醇酯基底上时,在通过 DC(恒定电流)四探针方法测定时,所述导电薄膜在围绕具有 10 毫米直径的棒弯曲 180° 之后具有这样的电导率:其为弯曲前的电导率的约 80%-100%、约 85%-约 99%、或者约 90%-约 98%。

[0127] 使用所述纳米片形成膜可通过任何合适的方法进行。例如,所述膜的形成可通过在形成墨或糊料之后印刷、喷涂、浸涂等进行。

[0128] 根据一种实施方式,将所制造的纳米片与去离子水接触,例如添加至去离子水,并且将所得分散体再次超声处理。向经超声处理的分散体添加不可与水混溶的有机溶剂(例如,芳族烃例如二甲苯或甲苯)。当摇动由此获得的混合物时,在水和有机溶剂之间的界面处形成包括纳米片的薄膜。当将清洁的、经润湿的、和经氧等离子体处理的玻璃基底轻轻地下沉(dip)至该界面并且取出时,所述包括纳米片的薄膜铺展于在该界面处的所述基底上。可通过控制在水/有机溶剂的表面上每面积的纳米片的浓度以及在将所述基底从包括所述纳米片的混合物取出时的速度/角度选择所述薄膜的厚度。

[0129] 所述导电薄膜具有高的导电性、增强的光透射率、和优异的柔性,并且因此可替代包括透明导电氧化物例如 ITO、ZnO 等的电极以及包括 Ag 纳米线的透明的膜。

[0130] 另一实施方式提供包括以上导电薄膜的电子器件。所述电子器件中包括的所述导电薄膜可与以上公开的相同。所述电子器件可包括,例如,平板显示器(例如,LCD、LED、或

者 OLED)、触摸屏面板、太阳能电池、电子视窗、热镜、透明晶体管、或柔性显示器,但是不限于此。

[0131] 图 7 为包括导电薄膜的有机发光二极管器件的一种实施方式的横截面图。

[0132] 根据一种实施方式的有机发光二极管器件包括基底 10、下部电极 20、面对下部电极 20 的上部电极 40、以及介于下部电极 20 和上部电极 40 之间的发射层 30。

[0133] 基底 10 可包括无机材料例如玻璃,或有机材料例如聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚酰胺、聚醚砜、或其组合,或者硅晶片。可使用包括以上基底的至少两种的组合。

[0134] 下部电极 20 和上部电极 40 之一为阴极且另一个为阳极。例如,下部电极 20 可为阳极且上部电极 40 可为阴极。

[0135] 下部电极 20 和上部电极 40 的至少一个可为透明电极。当下部电极 20 为透明电极时,所述有机发光二极管器件可具有底部发射结构,其中光是朝着基底 10 发射的;而当上部电极 40 为透明电极时,所述有机发光二极管器件可具有顶部发射结构,其中光是远离基底 10 发射的。此外,当下部电极 20 和上部电极 40 两者均为透明电极时,光可朝着基底 10 和远离基底 10 发射。

[0136] 所述透明电极可包括以上导电薄膜。所述导电薄膜与以上描述的相同。所述导电薄膜可具有高的电子密度。所述导电薄膜可用于替代 LiF/Al 或 MgAg 合金。

[0137] 发射层 30 可包括发射原色例如红色、绿色、蓝色等的有机材料,或者无机材料与所述有机材料的混合物,所述有机材料例如聚芴衍生物,聚对亚苯基亚乙烯基衍生物,聚亚苯基衍生物,聚乙烯基咪唑或其衍生物,聚噻吩衍生物,或者通过将这些聚合物材料用基于二萘嵌苯的颜料、基于香豆素的颜料、基于若丹明的颜料、红荧烯、二萘嵌苯、9,10-二苯基蒽、四苯基丁二烯、尼罗红、香豆素、喹吖啶酮等掺杂而制备的化合物。有机发光二极管器件通过由其中的发射层发射的原色的空间组合显示合乎需要的图像。

[0138] 发射层 30 可通过将基色(例如红色、绿色和蓝色三原色)组合而发射白光,并且在此情况下,颜色组合可通过将相邻像素的颜色组合或者通过将在垂直方向上层叠的颜色组合而发射白光。

[0139] 可在发射层 30 和上部电极 40 之间安置辅助层 50 以改善发射层 30 的发光效率。在该图中,辅助层 50 仅显示在发射层 30 和上部电极 40 之间,但是其不限于此。可在发射层 30 和下部电极 20 之间、或者在发射层 30 和上部电极 40 之间且在发射层 30 和下部电极 20 之间安置辅助层 50。

[0140] 辅助层 50 可包括用于在电子和空穴之间进行平衡的电子传输层(ETL)和空穴传输层(HTL),用于增强电子和空穴的注入的电子注入层(EIL)、空穴注入层(HIL)等。它可包括一个或多个从其选择的层。

[0141] 已说明了将所述导电薄膜应用于有机发光二极管器件的实例。而且,所述导电薄膜可用作用于包括透明电极的电子器件的电极而没有特别限制,例如,用作用于液晶显示器(LCD)的像素电极和/或公共电极、用于有机发光二极管器件的阳极和/或阴极、用于等离子体显示器件的显示电极、和用于触摸屏面板器件的透明电极。

[0142] 下文中,参照实施例更详细地说明实施方式。然而,这些实施例将决不被解释为限制本公开内容的范围。

[0143] 实施例

[0144] 实施例 1 :多晶烧结体的制备

[0145] 以如下方式制备多晶烧结体。

[0146] 在手套箱中,将金 (Au)、钯 (Pd)、或铂 (Pt) (纯度 :99.9%, 制造商 :R&D Korea Co.,Ltd.) 各自与单质碲 (纯度 :99.99%, 制造商 :R&D Korea Co.,Ltd.) 以 1:2 的摩尔比混合以提供二元混合物。将所制备的混合物引入到石英玻璃管中,并且将所述管在真空下密封。将所述石英玻璃管引入到箱式炉中并以 100 摄氏度 / 小时 ($^{\circ}\text{C} / \text{h}$) 的加热速率分别加热至 800°C (对于金混合物和钯混合物)、或 1200°C (对于铂混合物),且在该相同温度下保持 1 天和缓慢冷却至室温 (进行固态方法)。

[0147] 将所获得的样品粉碎并且使用 SPS 设备 (由 Fuji Electronic Industrial Co.,Ltd. 制造,型号名称 :Dr. Sinter) 在 600°C 的温度在 70MPa 的压力下使其经历火花等离子体烧结 (SPS) 过程。

[0148] 对于所获得的烧结体,使用 ULVAC-Riko ZEM-3 设备根据 DC 4 端子方法在室温 / 常压条件下测量电导率,并且结果汇集于表 4 中。

[0149] 对于二碲化钯烧结体和二碲化铂烧结体的每一个,进行 X- 射线衍射分析并且其结果示于图 1 和图 2 中。图 1 的结果证实 PdTe_2 烧结体包括具有属于六方晶系且具有空间群 $\overline{\text{P}}3\text{m1}$ (164) 的层状晶体结构的二碲化钯。图 2 的结果证实, PtTe_2 烧结体包括具有属于六方晶系且具有空间群 $\overline{\text{P}}3\text{m1}$ (164) 的层状晶体结构的二碲化铂。

[0150] 表 4

[0151]

组成	电导率(S/cm)	
	多晶	单晶
AuTe_2	4330	-
PtTe_2	21,000	21,700
PdTe_2	34,400	34,600

[0152] 表 4 的结果证实,根据该实施例的二碲化物化合物具有高的导电性。

[0153] 实施例 2 :单晶的制备

[0154] 在手套箱中,钯 (纯度 :99.99%, 制造商 :R&D Korea Co.,Ltd.) 或铂 (纯度 :99.99%, 制造商 :R&D Korea Co.,Ltd.) 各自与单质碲 (纯度 :99.99%, 制造商 :R&D Korea Co.,Ltd.) 以 1:2 的摩尔比混合以提供二元混合物。将所制备的混合物引入到石英玻璃管中,并且将所述管在真空条件下密封。将所述石英玻璃管置于箱式炉中并且以 $100^{\circ}\text{C} / \text{h}$ 的速率加热至 750°C (对于钯混合物) 或者 1150°C (对于铂混合物),并且在该温度保持约 1 小时 - 约 5 小时的时间。然后,将熔融产物的温度以约 $1^{\circ}\text{C} / \text{h}$ - $2^{\circ}\text{C} / \text{h}$ 的速率降低至 550°C (对于钯混合物) 或者降低至 950°C (对于铂混合物) 以生长大的晶粒尺寸的晶锭。将所生长的晶锭冷却至室温。

[0155] 使用 ULVAC-Riko ZEM-3 设备在室温 / 常压条件下根据 DC 4 端子方法测量所获得的单晶的电导率,并且结果汇集于上表 4 中。结果证实,所述单晶的电导率比相应的多晶烧结体的电导率略高。

[0156] 实施例 3 :PtTe₂微小薄片 (Microflake) 的制备和其 TEM-EDS 分析

[0157] 根据 K. S. Novoselov 等, "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films", Science Vol. 306, p. 666 (2004) (将其内容全部引入本文作为参考) 中阐述的方法使用 3M Scotch 胶带 (tape) 将由实施例 1 获得的 PtTe₂烧结体机械地剥落以获得具有 100nm 厚度的微小薄片。

[0158] 使用透射电子显微镜 (TEM) (TECNAI F30U-TWIN), 进行 TEM 分析和能量色散 X- 射线光谱法, 并且结果示于图 3A 和 3B 以及图 4A-4C 中。图 3A 和 3B 以及图 4A-4C 的结果证实, 在 PtTe₂剥落样品中不存在氧化物层。

[0159] 图 4A 中的位置 1 的能量色散 X- 射线分析确定 Pt 含量为 45.5 原子百分比 (原子%) 且 Te 含量为 54.5 原子%。图 4A 中的位置 2 的能量色散 X- 射线分析确定 Pt 含量为 47.8 原子%且 Te 含量为 52.2 原子%。

[0160] 实施例 4 :PdTe₂微小薄片的制备和其 TEM-EDS 分析

[0161] 以与实施例 3 中阐述的相同的方式使用 3M Scotch 胶带将由实施例 1 获得的 PdTe₂烧结体机械地剥落以获得具有 100nm 厚度的微小薄片。使用透射电子显微镜 (TEM) (来自 TECNAI F30U-TWIN), 对由此获得的剥落样品进行 TEM 分析, 并且结果示于图 5A 和 5B 中。图 5A 和 5B 的结果证实, 在 PdTe₂剥落样品中不存在氧化物层。

[0162] 对比例 1 :TiTe₂微小薄片的制备和其 TEM-EDS 分析

[0163] 除了如下之外, 以与实施例 1 中阐述的相同的方式获得 TiTe₂烧结体: 使用钛作为金属元素。以与实施例 3 中阐述的相同的方式使用 3M Scotch 胶带将由此制备的 TiTe₂烧结体机械地剥落以获得具有 100nm 厚度的纳米薄片。使用透射电子显微镜 (TEM) (来自 TECNAI F30U-TWIN), 对由此获得的剥落样品进行 TEM 分析, 并且结果示于图 6A-6E 中。图 6A-6E 的结果证实, TiTe₂剥落样品包括具有小于约 10nm 的厚度的非晶层, 其被认为是自然氧化物层。能量色散分析提供表 5 中提供的结果。

[0164] 表 5. 图 6A 中的点 P1-P4 的分析

[0165]

	O(原子%)	Ti(原子%)	Te(原子%)
P1	48.8	24.1	27.2
P2	0.7	34.4	64.9
P3	5.3	31.1	63.6
P4	53.5	15.1	31.3

[0166] 实施例 5 :PdTe₂薄膜的制造

[0167] 使用由实施例 1 制备的 PdTe₂烧结体作为靶并且使用 Nd/YAG 激光 (器) 在以下条件下在 Al₂O₃基底上进行脉冲激光沉积 (PLD)。

[0168] PLD 设备 :PLD 5000Deposition Systems, PVD Products

[0169] 输出功率 :60mJ/cm²

[0170] 时间 :20 分钟

[0171] 基底温度 :600℃

[0172] 真空度 : 2×10^{-6} Pa

[0173] 所获得的 PdTe₂沉积膜具有约 20nm 的厚度。

[0174] 实施例 6 :包括 PdTe₂纳米片的薄膜的制造

[0175] 将由实施例 1 制备的 PdTe₂烧结体粉碎并且将 0.1 克 (g) 所获得的粉末分散在 100mL 包括溶解在其中的丁基锂的己烷中,并且将所得分散体搅拌 72 小时。然后,将粉末从分散体取出和用己烷洗涤,并且在氩气气氛下干燥以获得锂插入(嵌入)的 PdTe₂粉末。在手套箱中将所述锂插入的 PdTe₂粉末置于小瓶中,然后向其中加入预定量的水并且使所得混合物经历超声处理 1 小时。随着氢气的产生,层间分离发生以提供 PdTe₂纳米片。

[0176] 将所获得的纳米片离心,然后将沉淀物用水洗涤并且再次离心。

[0177] 将所获得的纳米片沉淀物置于小瓶中并加入 3mL 去离子水且超声处理。向其中加入 2-3mL 甲苯,并且对所述小瓶进行搅拌以在水层和甲苯层之间的界面处提供包括纳米片的薄膜。将经氧等离子体处理的玻璃基底轻轻地下沉到该界面并且将其向上拉,使得存在于所述界面处的包括 PdTe₂纳米片的膜铺展在所述玻璃基底上。

[0178] 虽然已经关于目前被认为是实践性的示例性实施方式的内容描述了本公开内容,但是将理解,本发明不限于所公开的实施方式,而是相反,意图涵盖包括在所附权利要求的精神和范围内的各种修改和等同布置。

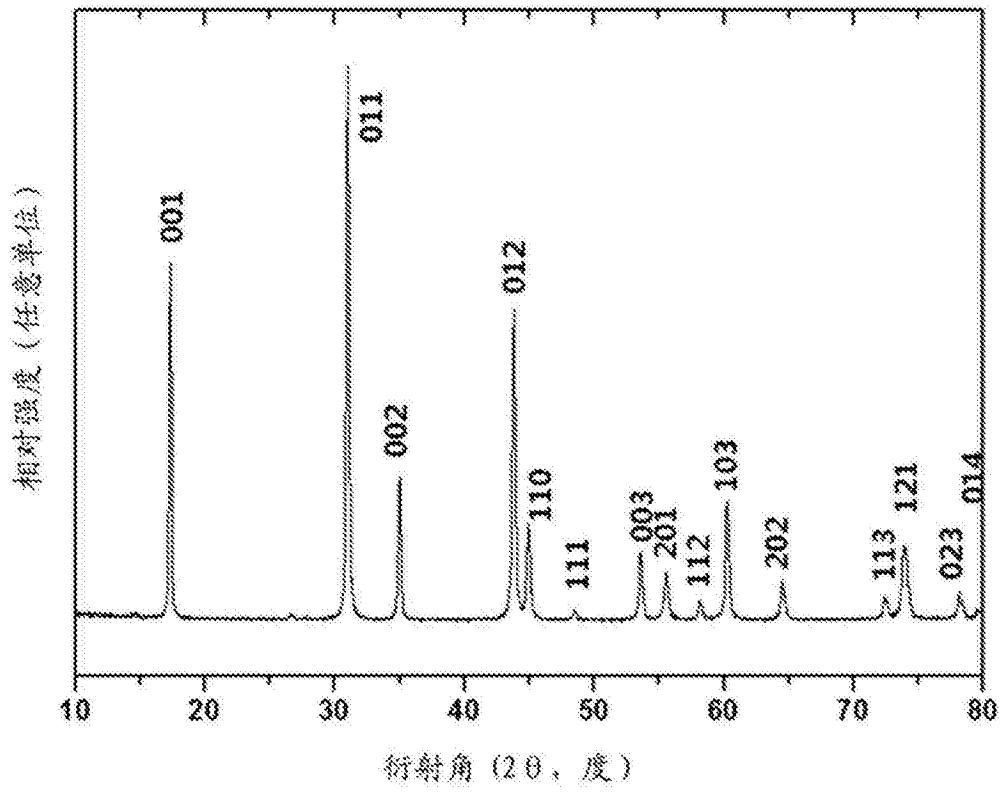


图 1

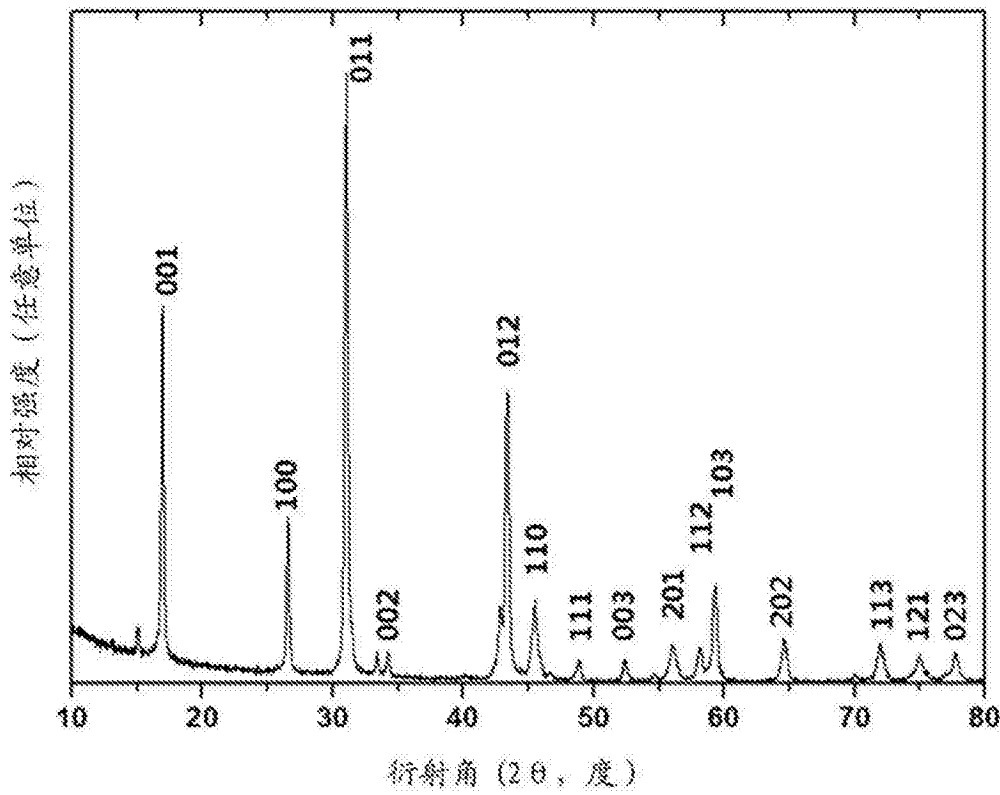


图 2

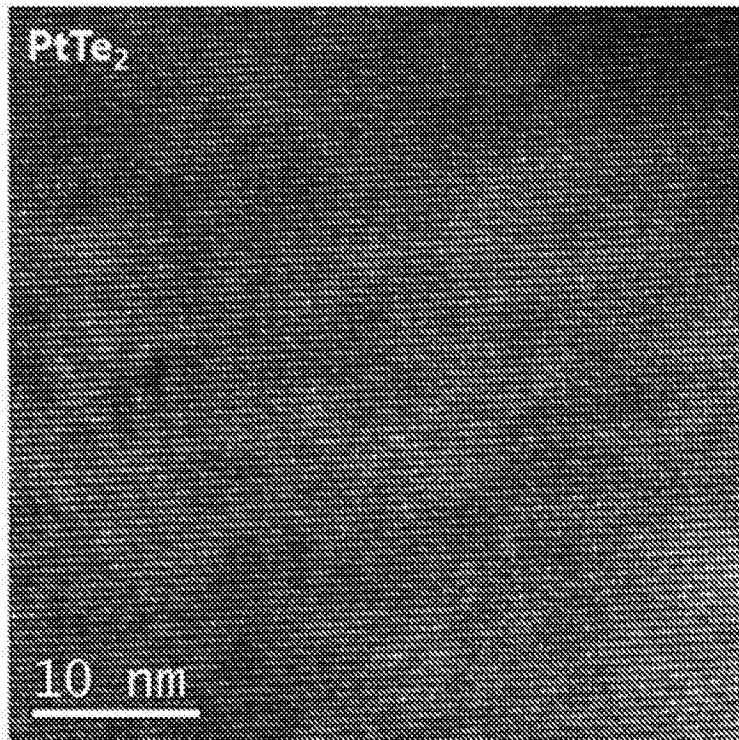


图 3A

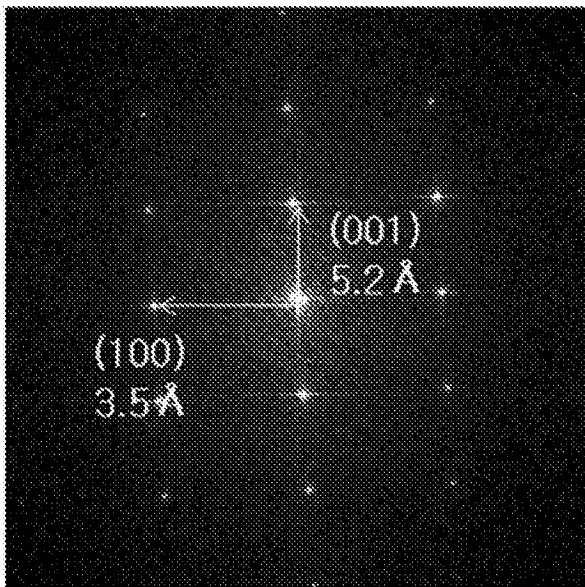


图 3B

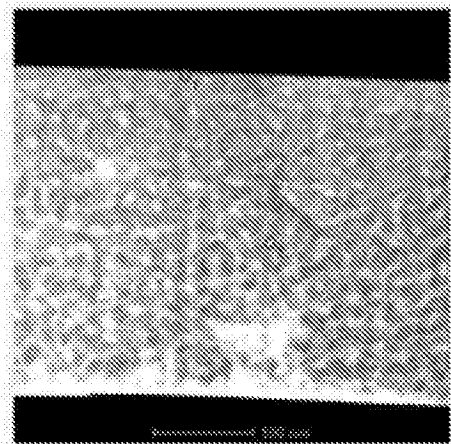


图 4A

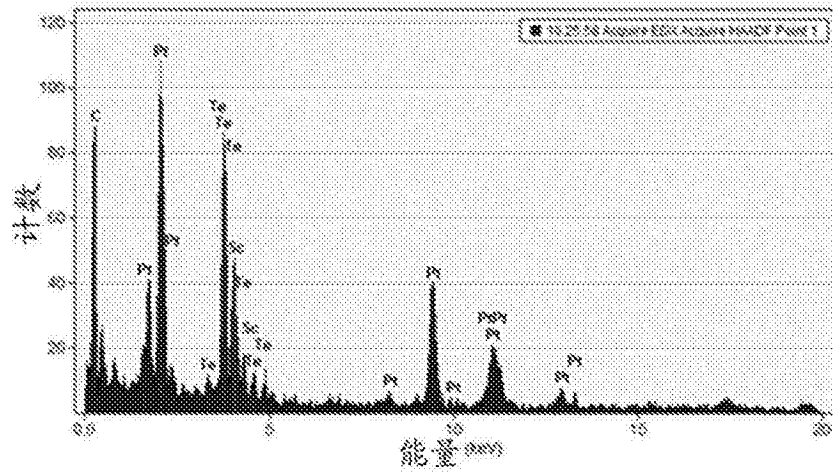


图 4B

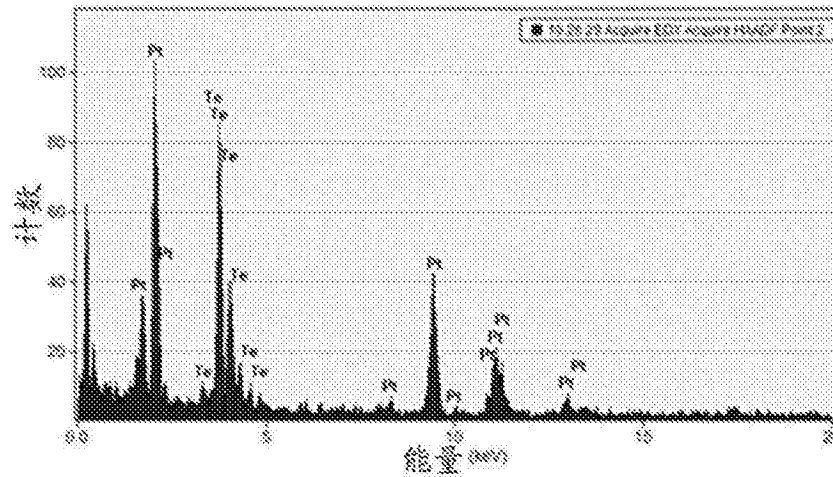
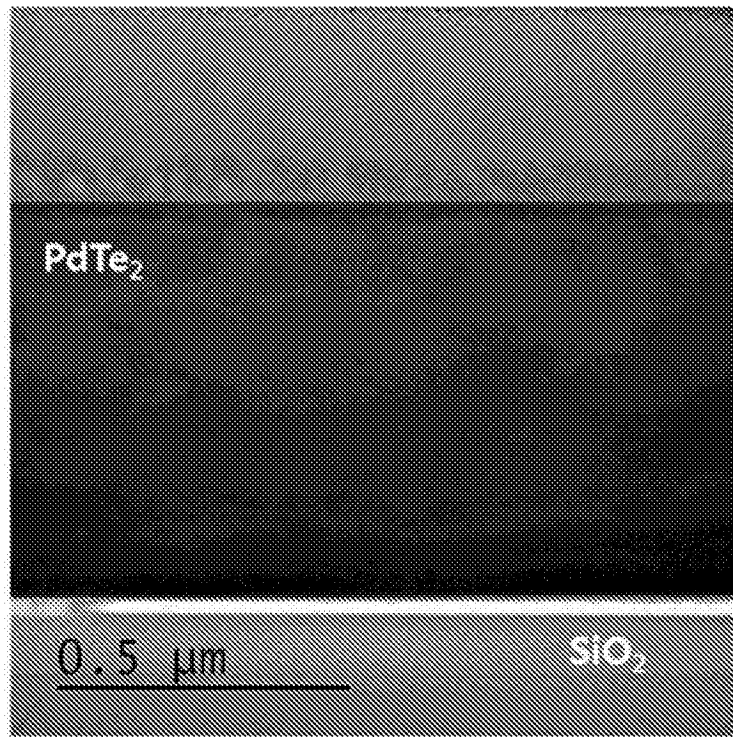
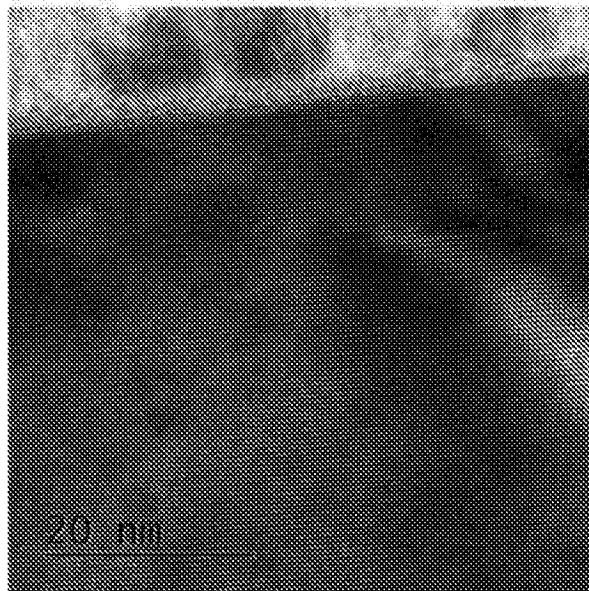


图 4C



不存在氧化物层

图 5A



不存在氧化物层

图 5B

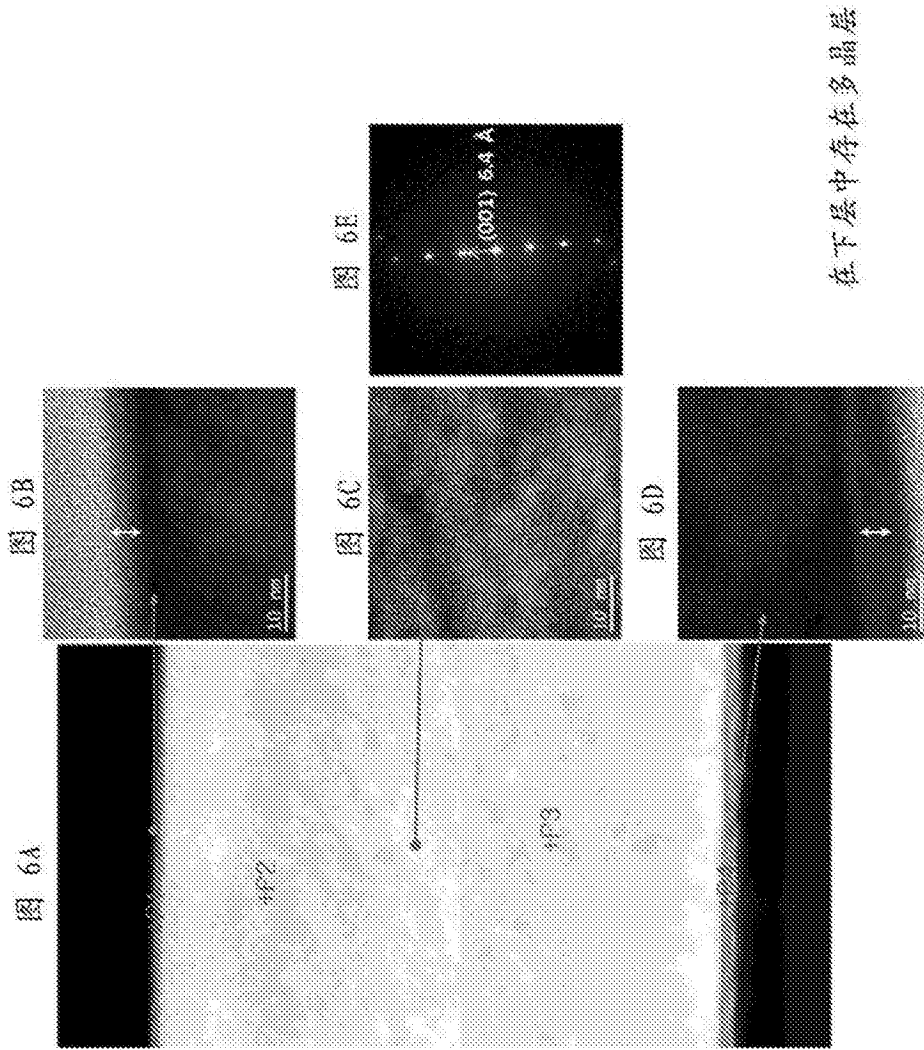


图 6

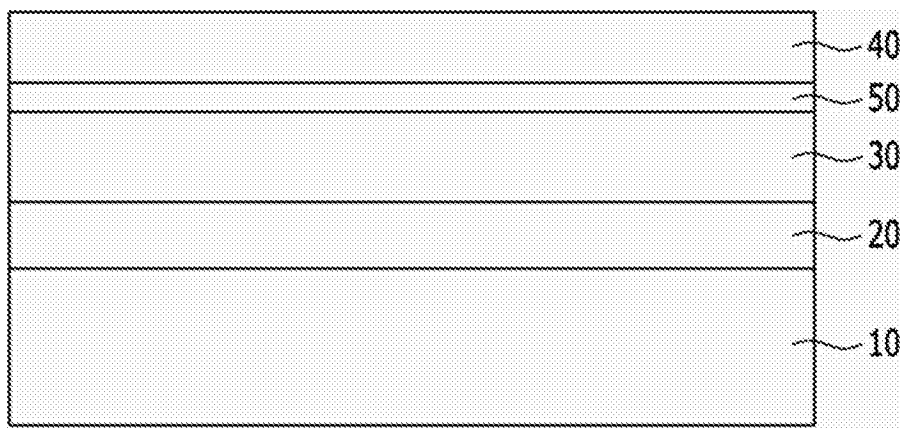


图 7