

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：97114120

※申請日期：97.4.18

※IPC分類：H01B 1/12(2006.01)
H01B 1/00(2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)
(中文) 線纜
(英文) CABLE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

(中文) 鴻海精密工業股份有限公司

(英文) HON HAI PRECISION INDUSTRY CO., LTD.

代表人：(中文/英文)

(中文) 郭台銘

(英文) GOU, TAI-MING

住居所或營業所地址：(中文/英文)

(中文) 台北縣土城市自由街 2 號

(英文) 2, Tzu Yu Street, Tu-Cheng City, Taipei Hsien, Taiwan,
R.O.C.

國籍：(中文/英文)

(中文) 中華民國

(英文) R.O.C.

三、發明人：(共 3 人)

1. 姓 名：(中文/英文)

(中文) 姜開利

(英文) JIANG, KAI-LI

國 籍：(中文/英文)

(中文) 中國

(英文) P.R.C.

2. 姓 名：(中文/英文)

(中文) 劉亮

(英文) LIU, LIANG

國 籍：(中文/英文)

(中文) 中國

(英文) P.R.C.

3. 姓 名：(中文/英文)

(中文) 范守善

(英文) FAN, SHOU-SHAN

國 籍：(中文/英文)

(中文) 中國

(英文) P.R.C.

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☐ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☐ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明涉及一種線纜，尤其涉及一種基於奈米碳管的線纜。

【先前技術】

線纜係電子產業裏較為常用的訊號傳輸線材，微米級尺寸的線纜更廣泛應用於 IT 產品、醫學儀器、空間設備中，大直徑的線纜應用於電能的傳輸中。傳統的線纜內部設置有兩個導體，內導體用以傳輸電訊號，外導體用以屏蔽傳輸的電訊號並且將其封閉於內部，從而使線纜具有高頻損耗低、屏蔽及抗干擾能力強、使用頻帶寬等特性，請參見文獻 “Electromagnetic Shielding of High-Voltage Cables”(M.De Wulf, P. Wouters et.al., Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 316, p908-p901 (2007))。

一般情況下，線纜從內至外的結構依次為形成內導體的纜芯、包覆於纜芯外表面的絕緣介質層、形成外導體的屏蔽層和外護套。其中，纜芯用來傳輸電訊號，材料以銅、鋁或銅鋅合金為主。屏蔽層通常由複數股金屬線編織或用金屬薄膜卷覆於絕緣介質層外形成，用以屏蔽電磁干擾或無用外部訊號干擾。對於以金屬材料形成的纜芯，最大問題在於交變電流於金屬導體中傳輸時，各部分的電流密度不均勻，導體內部電流密度小，導體表面電流密度大，這種現象稱為趨膚效應(Skin Effect)。趨膚效應使金屬導體中通過電流時的有效截面積減小，從而使導體的有效電阻變

大，導致線纜的傳輸效率降低或傳輸訊號丟失。另外，以金屬材料作為纜芯及屏蔽層的線纜，其強度較小，品質及直徑較大，無法滿足某些特定條件，如航空領域、空間設備及超細微線纜的應用。

奈米碳管係一種新型一維奈米材料，其具有優異的導電性能、較高的抗張強度和較高的熱穩定性，於材料科學、化學、物理學等交叉學科領域已展現出廣闊的應用前景。目前，已有將奈米碳管與金屬混合形成複合材料，從而用來製造線纜的纜芯。

先前技術中，含奈米碳管的線纜的製造方法一般包括以下步驟：提供一熔融金屬基體材料；將奈米碳管粉末浸沒於該熔融金屬基體材料中，形成奈米碳管與金屬基體的混合物；於能使所述熔融金屬基體材料固化的條件下從該熔融金屬基體材料中拉出複數滲透了熔融金屬基體材料的纖維，形成金屬基體複合纜芯；包覆聚合物於所述纜芯的外表面形成絕緣介質層；將複數股金屬線直接或通過編織包覆於絕緣介質層外形成屏蔽層或用金屬薄膜卷覆於絕緣介質層外形成屏蔽層；及包覆一外護套於所述屏蔽層的外表面。

該方法得到的線纜與採用純金屬纜芯的線纜相比，具有較強的機械性能，及較輕的品質，該線纜的導電性也有所提高。然而，該採用金屬基體複合奈米碳管纜芯的線纜中奈米碳管無序分散於金屬中，該線纜中的奈米碳管無法發揮其軸向導電的優勢，仍無法解決上述金屬纜芯中的趨

膚效應問題。且採用混合奈米碳管於熔融金屬中後再拉絲的方法製備線纜，該方法較為複雜，且成本較高。

綜上所述，提供一種線纜，該線纜具有良好的導電性能實為必要。

【發明內容】

一種線纜，包括至少一個纜芯、包覆於纜芯外的至少一個絕緣介質層、包覆於絕緣介質層外的至少一個屏蔽層和包覆於屏蔽層外的一個外護套，其中，該纜芯包括奈米碳管長線結構及導電材料層，該導電材料層包覆于奈米碳管長線結構表面。

與先前技術比較，本技術方案採用包括奈米碳管長線結構的纜芯的線纜具有以下優點：其一，該線纜的纜芯由導電材料層包裹于奈米碳管長線結構外表面構成，由於奈米碳管長線結構具有較高的機械強度及較輕的品質。故，該含有奈米碳管長線結構的線纜比採用金屬基體複合奈米碳管纜芯的線纜具有更高的機械強度及更輕的品質，適合特殊領域，如航空領域及空間設備的應用。其二，該線纜採用導電材料層及奈米碳管長線結構共同形成的纜芯，由於該奈米碳管長線結構具有較高的導電性，故，採用導電材料層及奈米碳管長線結構共同形成的纜芯比採用金屬基體複合奈米碳管形成的纜芯具有更好的導電性。其三，該線纜纜芯採用導電材料層及奈米碳管長線結構共同組成，電流於纜芯中傳播，電流傳播有效截面積不變，電流於通過導電材料層時基本不會產生趨膚效應，從而減少了訊號

線上纜中傳輸過程中的衰減。

【實施方式】

以下將結合附圖詳細說明本技術方案實施例線纜 10 的結構及其製備方法。

本技術方案實施例提供一種線纜，該線纜包括至少一纜芯、包覆於纜芯外的至少一絕緣介質層、包覆於絕緣介質層外的至少一電磁屏蔽層和包覆於電磁屏蔽層外的至少一外護套。

請參閱圖 1，本技術方案第一實施例的線纜 10 為同軸線纜，該同軸線纜包括一個纜芯 120、包覆於纜芯 120 外的絕緣介質層 130、包覆於絕緣介質層 130 外的屏蔽層 140 和包覆於屏蔽層 140 外的外護套 150。其中，上述纜芯 120、絕緣介質層 130、屏蔽層 140 和外護套 150 為同軸設置。

請參見圖 2，所述纜芯 120 包括導電材料層 110 及一奈米碳管長線結構 100，該導電材料層 110 包覆於該奈米碳管長線結構 100 外表面。具體地，該導電材料層 110 包括與奈米碳管長線結構 100 表面直接結合的潤濕層 112、設置於潤濕層 112 外表面的過渡層 113、設置於過渡層 113 外表面的導電層 114 及設置於導電層 114 外表面的抗氧化層 115。該導電材料層 110 至少包括該導電層 114，上述潤濕層 112、過渡層 113、抗氧化層 115 均為可選結構。該纜芯 120 的直徑大於 1 微米，優選地，該纜芯 120 的直徑為 10~30 微米或 1 厘米。

所述奈米碳管長線結構 100 包括至少一奈米碳管長線 102。該奈米碳管長線 102 的直徑為 4.5 奈米~100 微米。

請參見圖 3，該奈米碳管長線結構 100 還可以為複數個奈米碳管長線 102 組成的束狀或絞線狀結構。當該奈米碳管長線結構 100 的直徑小於 100 微米時，該奈米碳管結構 100 構成的線纜 10 可應用於訊號傳輸領域。當該奈米碳管結構 100 的直徑大於 100 微米時，該奈米碳管結構 100 構成的線纜 10 可應用於電力傳輸領域。

所述奈米碳管長線 102 包括由複數個奈米碳管組成的束狀或絞線狀結構。請參見圖 4，該束狀結構的奈米碳管長線 102 包括複數個沿纜芯軸向擇優取向排列的奈米碳管束片段，每個奈米碳管束片段具有大致相等的長度且每個奈米碳管束片段由複數個相互平行的奈米碳管束構成，奈米碳管束片段兩端通過凡德瓦爾力相互連接，該奈米碳管束中包括複數個奈米碳管，該複數個奈米碳管具有共同的擇優取向排列。於該束狀結構的奈米碳管長線 102 中，所述奈米碳管沿奈米碳管長線軸向擇優取向排列，且該複數個奈米碳管通過凡德瓦爾力首尾相連。該束狀結構的奈米碳管長線的直徑為 10 微米~30 微米。

請參見圖 5，所述絞線狀結構的奈米碳管長線 102 包括複數個奈米碳管沿奈米碳管長線軸向螺旋狀排列，且該複數個奈米碳管通過凡德瓦爾力首尾相連。該絞線狀奈米碳管長線 102 的直徑為 10 微米~30 微米。

奈米碳管長線結構 100 中的奈米碳管包括單壁奈米碳管，雙壁奈米碳管或多壁奈米碳管，所述單壁奈米碳管的直徑為 0.5 奈米~50 奈米，雙壁奈米碳管的直徑為 1 奈米~50 奈米，多壁奈米碳管的直徑為 1.5 奈米~50 奈米。

上述潤濕層 112 的作用為使導電層 114 與奈米碳管長線結構 100 表面更好的結合。形成該潤濕層 112 的材料可以為鎳、鈮或鈦等與奈米碳管潤濕性好的金屬或其合金，該潤濕層 112 的厚度為 1~10 奈米。本實施例中，該潤濕層 112 的材料為鎳，厚度約為 2 奈米。可以理解，該潤濕層 112 為可選擇結構。

上述過渡層 113 的作用為使潤濕層 112 與導電層 114 更好的結合。形成該過渡層 113 的材料可以為金、銀或銅等與潤濕層 112 材料及導電層 114 材料均能較好結合的金屬或其合金，該過渡層 113 的厚度為 1~10 奈米。本實施例中，該過渡層 113 的材料為銅，厚度為 2 奈米。可以理解，該過渡層 113 為可選擇結構。

上述導電層 114 的作用為使纜芯 110 具有較好的導電性能。形成該導電層 114 的材料可以為銅、銀或金等導電性好的金屬或其合金，該導電層 114 的厚度為 1~20 奈米。本實施例中，該導電層 114 的材料為銀，厚度約為 5 奈米。

上述抗氧化層 115 的作用為防止線上纜 10 的製造過程中導電層 114 於空氣中被氧化，從而使纜芯 120 的導電性能下降。形成該抗氧化層 115 的材料可以為金或鉑等於空氣中不易氧化的穩定金屬或其合金，該抗氧化層 115 的厚度為 1~10 奈米。本實施例中，該抗氧化層 115 的材料為鉑，厚度為 2 奈米。可以理解，該抗氧化層 115 為可選擇結構。

進一步地，為提高線纜 10 的強度，可於該導電材料層 110 外進一步設置一強化層 116。形成該強化層 116 的材料

可以為聚乙烯醇 (PVA)、聚苯撐苯並二噁唑 (PBO)、聚乙烯 (PE) 或聚氯乙烯 (PVC) 等強度較高的聚合物，該強化層 116 的厚度為 0.1~1 微米。本實施例中，該強化層 116 的材料為聚乙烯醇 (PVA)，厚度為 0.5 微米。可以理解，該強化層 116 為可選擇結構。

上述絕緣介質層 130 用於電氣絕緣，可以選用聚四氟乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、泡沫聚乙烯組合物或奈米黏土—高分子複合材料。奈米黏土—高分子複合材料中奈米黏土係奈米級層狀結構的矽酸鹽礦物，係由複數種水合矽酸鹽和一定量的氧化鋁、鹼金屬氧化物及鹼土金屬氧化物組成，具耐火阻燃等優良特性，如奈米高嶺土或奈米蒙脫土。高分子材料可以選用矽樹脂、聚醯胺、聚烯烴如聚乙烯或聚丙烯等，但並不以此為限。本實施例絕緣介質層 130 優選泡沫聚乙烯組合物。

上述屏蔽層 140 由一導電材料形成，用以屏蔽電磁干擾或無用外部訊號干擾。具體地，屏蔽層 140 可由複數股金屬線編織或用金屬薄膜卷覆於絕緣介質層 130 外形成，也可由一奈米碳管結構纏繞或卷覆於絕緣介質層 130 外形成，或可由含有奈米碳管的複合材料直接包覆於絕緣介質層 130 表面。

其中，所述金屬薄膜或金屬線的材料可以選擇為銅、金或銀等導電性好的金屬或其合金。所述奈米碳管結構包括連續的奈米碳管薄膜或奈米碳管長線。所述含有奈米碳管的複合材料可以為金屬與奈米碳管的複合材料或聚合物與奈米碳管的複合材料。該聚合物材料可以選擇為聚對苯

二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET)、聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC)、丙烯腈—丁二烯丙烯—苯乙烯共聚物 (Acrylonitrile-Butadiene Styrene Terpolymer, ABS)、聚碳酸酯/丙烯腈—丁二烯—苯乙烯共聚物 (PC/ABS) 等高分子材料。當該複合材料為聚合物與奈米碳管的複合材料時，可將奈米碳管均勻分散於上述聚合物材料的溶液中，並將該含奈米碳管的聚合物材料的溶液均勻塗覆於絕緣介質層 130 表面，待冷卻後形成一包括聚合物與奈米碳管的屏蔽層 140。進一步地，該屏蔽層 140 還可由上述複數種材料於絕緣介質層 130 外組合構成。本技術方案實施例採用奈米碳管結構組成屏蔽層 140，因奈米碳管具有良好的導電性能從而使得該屏蔽層 140 具有較強的屏蔽效果。

上述外護套 150 由絕緣材料製成，可以選用奈米黏土—高分子材料的複合材料，其中奈米黏土可以為奈米高嶺土或奈米蒙脫土，高分子材料可以為矽樹脂、聚醯胺、聚烯烴如聚乙烯或聚丙烯等，但並不以此為限。本實施例外護套 150 優選奈米蒙脫土—聚乙烯複合材料，其具有良好的機械性能、耐火阻燃性能、低煙無鹵性能，不僅可以為線纜 10 提供保護，有效抵禦機械、物理或化學等外來損傷，同時還能滿足環境保護的要求。

所述線纜 10 由於採用奈米碳管長線結構 100 及導電材料層 110 作為纜芯 120，其具有以下優點：其一，該纜芯 10 中的奈米碳管長線結構 100 包含複數個有序排列的奈米碳管，其具有較輕的品質，及較高的機械強度，故，該含

有奈米碳管長線結構 100 的線纜 10 比採用金屬基體複合奈米碳管纜芯的線纜具有更高的機械強度及更輕的品質，適合特殊領域，如航空領域及空間設備的應用。其二，於奈米碳管長線結構 100 中，奈米碳管有序排列，故比採用金屬基體複合奈米碳管形成的纜芯具有更好的導電性。其三，該奈米碳管長線結構 100 包括複數個由凡德瓦爾力首尾相連且擇優取向排列的奈米碳管，由於奈米碳管為管狀結構，於該奈米碳管長線結構 100 中，電流沿複數個首尾相連的奈米碳管的管壁傳播，電流傳播有效截面積不變，電流於通過導電材料層時基本不會產生趨膚效應，從而減少了訊號線上纜中傳輸過程中的衰減。

請參閱圖 6 及圖 7，本技術方案第一實施例線纜 10 的製備方法主要包括以下步驟：

步驟一：提供一奈米碳管陣列 216，優選地，該奈米碳管陣列 216 為超順排奈米碳管陣列。

該奈米碳管陣列 216 為單壁奈米碳管陣列，雙壁奈米碳管陣列，及多壁奈米碳管陣列中的一種或複數種。本實施例中，該超順排奈米碳管陣列的製備方法採用化學氣相沈積法，其具體步驟包括：(a) 提供一平整基底，該基底可選用 P 型或 N 型矽基底，或選用形成有氧化層的矽基底，本實施例優選為採用 4 英寸的矽基底；(b) 於基底表面均勻形成一催化劑層，該催化劑層材料可選用鐵 (Fe)、鈷 (Co)、鎳 (Ni) 或其任意組合的合金之一；(c) 將上述形成有催化劑層的基底於 700~900°C 的空氣中退火約 30 分鐘~90 分鐘；(d) 將處理過的基底置於反應爐中，於保

護氣體環境下加熱到 500~740°C，然後通入碳源氣體反應約 5~30 分鐘，生長得到超順排奈米碳管陣列，其高度為 200~400 微米。該超順排奈米碳管陣列為複數個彼此平行且垂直於基底生長的奈米碳管形成的純奈米碳管陣列。通過上述控制生長條件，該超順排奈米碳管陣列中基本不含雜質，如無定型碳或殘留的催化劑金屬顆粒等。該超順排奈米碳管陣列中的奈米碳管彼此通過凡德瓦爾力緊密接觸形成陣列。該超順排奈米碳管陣列的面積與上述基底面積基本相同。

本實施例中碳源氣可選用乙炔、乙烯、甲烷等化學性質較活潑的碳氫化合物，保護氣體為氮氣或惰性氣體。本實施例優選的碳源氣為乙炔，優選的保護氣體為氮氣。

步驟二：採用一拉伸工具從所述奈米碳管陣列 216 中拉取獲得一有序奈米碳管結構 214。

所述有序奈米碳管結構 214 的製備方法包括以下步驟：(a) 從上述奈米碳管陣列 216 中選定一定寬度的複數個奈米碳管束片段，本實施例優選為採用具有一定寬度的膠帶或一針尖接觸奈米碳管陣列 216 以選定一定寬度的複數個奈米碳管束片段；(b) 以一定速度沿基本垂直于奈米碳管陣列 216 生長的方向拉伸該複數個奈米碳管束片段，以形成一連續的有序奈米碳管結構 214。

於上述拉伸過程中，該複數個奈米碳管束片段於拉力作用下沿拉伸方向逐漸脫離基底的同時，由於凡德瓦爾力作用，該選定的複數個奈米碳管束片段分別與其他奈米碳管束片段首尾相連地連續地被拉出，從而形成一有序奈米

碳管結構 214。該有序奈米碳管結構 214 包括複數個首尾相連且定向排列的奈米碳管束。該有序奈米碳管結構 214 中奈米碳管的排列方向基本平行於有序奈米碳管結構 214 的拉伸方向。

該有序奈米碳管結構 214 為一奈米碳管薄膜或一奈米碳管長線。具體地，當所選定的複數個奈米碳管束片段的寬度較大時，所獲得的有序奈米碳管結構 214 為一奈米碳管薄膜，其微觀結構請參閱圖 8；當所選定的複數個奈米碳管束片段的寬度較小時，所獲得的有序奈米碳管結構 214 即為一奈米碳管長線。

該直接拉伸獲得的有序奈米碳管結構 214 的厚度均勻，奈米碳管於該奈米碳管結構 214 中均勻分佈。該直接拉伸獲得有序奈米碳管結構 214 的方法簡單快速，適宜進行工業化應用。

步驟三：對上述有序奈米碳管結構 214 進行機械處理，得到一奈米碳管長線結構 100。

當上述有序奈米碳管結構 214 為一寬度較大的奈米碳管薄膜時，對其進行機械處理從而得到一奈米碳管長線的步驟可以通過以下三種方式實現：對所述有序奈米碳管結構 214 進行扭轉，形成絞線狀奈米碳管長線；切割所述有序奈米碳管結構 214，形成束狀奈米碳管長線；將有序奈米碳管結構 214 經過一有機溶劑浸潤處理後收縮成為一束狀奈米碳管長線。

對所述有序奈米碳管結構 214 進行扭轉，形成奈米碳管長線的步驟可通過以下兩種方式實現：其一，通過將黏

附於上述有序奈米碳管結構 214 一端的拉伸工具固定於一旋轉電機上，扭轉該有序奈米碳管結構 214，從而形成一奈米碳管長線。其二，提供一個尾部可以黏住有序奈米碳管結構 214 的紡紗軸，將該紡紗軸的尾部與有序奈米碳管結構 214 結合後，使該紡紗軸以旋轉的方式扭轉該有序奈米碳管結構 214，形成一奈米碳管長線。可以理解，上述紡紗軸的旋轉方式不限，可以正轉，可以反轉，或者正轉和反轉相結合。優選地，所述扭轉該有序奈米碳管結構 214 的步驟為將所述有序奈米碳管結構 214 沿有序奈米碳管結構 214 的拉伸方向以螺旋方式扭轉。扭轉後所形成的奈米碳管長線為一絞線結構，其掃描電鏡照片請參見圖 5。

所述切割有序奈米碳管結構 214，形成奈米碳管長線的步驟為：沿有序奈米碳管結構 214 的拉伸方向切割所述有序奈米碳管結構 214，形成複數個奈米碳管長線。

有序奈米碳管結構 214 經過一有機溶劑浸潤處理後收縮獲得的奈米碳管長線為束狀結構，其掃描電鏡照片請參見圖 4。所述有機溶劑為揮發性有機溶劑。所述揮發性有機溶劑選自乙醇、甲醇、丙酮、二氯乙烷及氯仿，本實施例中該揮發性有機溶劑優選乙醇。

當奈米碳管長線結構 100 包括一個奈米碳管長線時，上述方法得到的奈米碳管長線即為一奈米碳管長線結構 100。

當奈米碳管長線結構 100 包括複數個奈米碳管長線時，上述複數個奈米碳管長線可進一步平行排列成束或相互纏繞扭轉，以形成一包括複數個奈米碳管長線的奈米碳

管長線結構 100。

可以理解，本技術方案並不限於上述方法獲得奈米碳管長線結構 100，只要能使所述有序奈米碳管結構 214 形成奈米碳管長線結構 100 的方法都於本技術方案的保護範圍之內。

步驟四：形成至少一導電材料層 110 於上述奈米碳管長線結構 100 表面，得到一纜芯 120。

本實施例採用物理氣相沈積法 (PVD)，如真空蒸鍍法或離子濺射法或電鍍法等方法沈積導電材料層 110。優選地，本實施例採用真空蒸鍍法形成至少一層導電材料層 110。

所述採用真空蒸鍍法形成至少一層導電材料層 110 的過程包括以下步驟：首先，提供一真空容器 210，該真空容器 210 具有至少一沈積區，該沈積區底部和頂部分別放置至少一個蒸發源 212，該至少一個蒸發源 212 按形成至少一層導電材料層的先後順序依次沿有序奈米碳管結構 214 的拉伸方向設置，且每個蒸發源 212 均可通過一個加熱裝置（圖未示）加熱。上述奈米碳管長線結構 100 設置於上下蒸發源 212 中間並與其間隔一定距離，其中奈米碳管長線結構 100 正對上下蒸發源 212 設置。該真空容器 210 可通過外接一真空泵（圖未示）抽氣達到預定的真空度。所述蒸發源 212 材料為待沈積的導電材料。其次，通過加熱所述蒸發源 212，使其熔融後蒸發或昇華形成導電材料蒸汽，該導電材料蒸汽遇到冷的奈米碳管長線結構 100 後，於奈米碳管長線結構 100 上下表面凝聚，形成導電材

料層。由於奈米碳管長線結構 100 表面的奈米碳管之間存於間隙，導電材料可以滲透進入奈米碳管長線結構 100 表面奈米碳管之間的間隙中，從而很好的沈積於奈米碳管長線結構 100 的表面。

可以理解，通過調節奈米碳管長線結構 100 和每個蒸發源 212 的距離及蒸發源 212 之間的距離，可使每個蒸發源 212 具有一個沈積區。當需要沈積複數層導電材料層 120 時，可將複數個蒸發源 212 同時加熱，使奈米碳管長線結構 100 連續通過複數個蒸發源的沈積區，從而實現沈積複數層導電材料層 110。

為提高導電材料蒸汽密度並且防止導電材料被氧化，真空容器 210 內真空度應達到 1 帕（Pa）以上。本技術方案實施例中，真空容器 210 中的真空度為 $4 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 。

本技術方案實施例中，所述採用真空蒸鍍法形成至少一導電材料層 110 的方法具體包括以下步驟：形成一層潤濕層 112 於所述奈米碳管長線結構 100 表面；形成一層過渡層 113 於所述潤濕層 112 的外表面；形成一層導電層 114 於所述過渡層 113 的外表面；形成一層抗氧化層 115 於所述導電層 114 的外表面。其中，上述形成潤濕層 112、過渡層 113 及抗氧化層 115 的步驟均為可選擇的步驟。具體地，可將上述奈米碳管長線結構 100 連續地通過上述各層材料所形成的蒸發源 212 的沈積區。

通過上述步驟，可於奈米碳管長線結構 100 表面形成至少一導電材料層 110，從而得到線纜 10 的纜芯 120。所制得的纜芯 120 可進一步收集於一第一捲筒 224 上。收集

方式為將纜芯 120 纏繞於所述第一捲筒 224 上。

另外，於所述形成至少一層導電材料層 110 於所述奈米碳管長線結構 100 表面之後，可進一步包括於所述奈米碳管長線結構 100 表面形成強化層 116 的步驟。所述形成強化層 116 的過程具體包括以下步驟：將形成有至少一層導電材料層 110 的奈米碳管長線結構 100 通過一裝有聚合物溶液的裝置 220，使聚合物溶液浸潤整個奈米碳管長線結構 100，該聚合物溶液通過分子間作用力黏附於所述至少一個導電材料層 110 的外表面；及凝固聚合物，形成一強化層 116。

步驟五：形成至少一絕緣介質層 130 於所述纜芯 120 的外表面。

所述絕緣介質層 130 可通過一第一擠壓裝置 230 包覆於所述纜芯 120 的外表面，該第一擠壓裝置 230 將聚合物熔體組合物塗覆於所述纜芯 120 的表面。本技術方案實施例中，所述聚合物熔體組合物優選為泡沫聚乙烯組合物。一旦纜芯 120 離開所述第一擠壓裝置 230，聚合物熔體組合物因壓力減小而發生膨脹，從而形成絕緣介質層 130 於所述纜芯 120 的外表面。

當所述絕緣介質層 130 為兩層或兩層以上時，可重複上述步驟。

步驟六：形成至少一屏蔽層 140 於所述絕緣介質層 130 的外表面。

提供一屏蔽帶 242，該屏蔽帶 242 由一第二捲筒 244 提供。將該屏蔽帶 242 圍繞絕緣介質層 130 卷覆，以便形

成屏蔽層 140。屏蔽帶 242 可選用一金屬薄膜、奈米碳管結構或金屬線等線狀結構。另外，所述屏蔽帶 242 也可由上述複數種材料形成的編織層共同組成，並通過黏結劑黏結或直接纏繞於所述絕緣介質層 130 外表面。

本技術方案實施例中，所述屏蔽層 140 由複數個奈米碳管長線結構組成，該奈米碳管長線結構直接或編織成網狀纏繞於所述絕緣介質層外。每個奈米碳管長線結構包括複數個從奈米碳管陣列拉出的奈米碳管束片段，每個奈米碳管束片段具有大致相等的長度且每個奈米碳管束片段由複數個相互平行的奈米碳管束構成，其中，奈米碳管束片段兩端通過凡德瓦爾力相互連接。本技術方案實施例採用奈米碳管結構組成屏蔽層 140，因奈米碳管具有良好的導電性能從而使得該屏蔽層 140 具有較強的屏蔽效果。

優選地，所述帶狀膜結構的屏蔽帶 242 繞纜芯 120 軸向進行纏繞包裹，以便完全屏蔽纜芯 120。所述奈米碳管長線結構或金屬線等線狀結構的屏蔽帶 242 可直接或編織成網狀纏繞於所述絕緣介質層 130 的外表面。具體地，所述複數根奈米碳管長線結構或金屬線可通過複數個繞線架 246 沿不同的螺旋方向捲繞於所述絕緣介質層 130 的外表面。

可以理解，當所述屏蔽層 140 為兩層或兩層以上結構時，可重複上述步驟。

步驟七：形成一外護套 150 於所述屏蔽層 140 的外表面。

所述外護套 150 可通過一第二擠壓裝置 250 包覆到所

述屏蔽層 140 外表面，該第二擠壓裝置 250 將聚合物熔體組合物塗覆於屏蔽層 140 的表面，所述聚合物熔體圍繞於所述屏蔽層 140 的外表面被擠壓，冷卻後形成外護套 150。本實施例形成外護套 150 的聚合物熔體優選奈米蒙脫土—聚乙烯複合材料，其具有良好的機械性能、耐火阻燃性能、低煙無鹵性能，不僅可以為線纜 10 提供保護，有效抵禦機械、物理或化學等外來損傷，同時還能滿足環境保護的要求。

● 進一步地，可將所製造的線纜 10 收集於一第三捲筒 260 上，以利於儲存和裝運。

請參閱圖 9，本技術方案第二實施例提供一種線纜 30，該線纜 30 為同軸線纜，該同軸線纜 30 包括複數個纜芯 320（圖 9 中共顯示七個纜芯）、每一纜芯 320 外覆蓋一個絕緣介質層 330、包覆於複數個纜芯 320 外的一個屏蔽層 340 和一個包覆於屏蔽層 340 外表面的外護套 350。屏蔽層 340 和絕緣介質層 330 的間隙內可填充絕緣材料。其中，每個纜芯 320 及絕緣介質層 330、屏蔽層 340 和外護套 350 的結構、材料及製備方法與第一實施例中的纜芯 120、絕緣介質層 130、屏蔽層 140 和外護套 150 的結構、材料及製備方法基本相同。

請參閱圖 10，本技術方案第三實施例提供一種線纜 40，該線纜 40 為同軸線纜，該同軸線纜 40 包括複數個纜芯 420（圖 10 中共顯示五個纜芯）、每一纜芯 420 外覆蓋一個絕緣介質層 430 和一個屏蔽層 440、及包覆於複數個纜芯 420 外表面的外護套 450。屏蔽層 440 的作用於於對

各個纜芯 440 進行單獨的屏蔽，這樣不僅可以防止外來因素對纜芯 420 內部傳輸的電訊號造成干擾而且可以防止各纜芯 420 內傳輸的不同電訊號間相互發生干擾。其中，每個纜芯 420、絕緣介質層 430、屏蔽層 440 和外護套 450 的結構、材料及製備方法與第一實施例中的纜芯 120、絕緣介質層 130、屏蔽層 140 和外護套 150 的結構、材料及製備方法基本相同。

本技術方案實施例提供的包括奈米碳管長線及導電材料層的纜芯的製備方法具有以下優點：其一，由於奈米碳管長線係通過對奈米碳管薄膜進行旋轉或直接從奈米碳管陣列中拉取而製造，該方法簡單、成本較低。其二，所述從奈米碳管陣列中拉取獲得有序奈米碳管結構的步驟及形成至少一層導電材料層的步驟均可於一真空容器中進行，有利於纜芯的規模化生產，從而有利於線纜的規模化生產。

另外，本領域技術人員還可於本發明精神內作其他變化，當然這些依據本發明精神所作的變化，都應包含於本發明所要求保護的範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1 係本技術方案第一實施例的線纜的截面結構示意圖。

圖 2 係本技術方案第一實施例的線纜中單根纜芯的結構示意圖。

圖 3 係本技術方案第一實施例的奈米碳管長線結構截面結構示意圖。

圖 4 係本技術方案第一實施例的束狀奈米碳管長線的

掃描電鏡照片。

圖 5 係本技術方案第一實施例的絞線狀碳奈米管長線的掃描電鏡照片。

圖 6 係本技術方案第一實施例線纜的製造方法的流程圖。

圖 7 係本技術方案第一實施例線纜的製造裝置的結構示意圖。

圖 8 係本技術方案第一實施例碳奈米管薄膜的掃描電鏡照片。

圖 9 係本技術方案第二實施例線纜的截面結構示意圖。

圖 10 係本技術方案第三實施例線纜的截面結構示意圖。

【主要元件符號說明】

線纜	10, 30, 40
纜芯	120, 320, 420
奈米碳管長線結構	100
導電材料層	110
潤濕層	112
過渡層	113
導電層	114
抗氧化層	115
強化層	116
絕緣介質層	130, 330, 430

屏蔽層	140, 340, 440
外護套	150, 350, 450
真空容器	210
蒸發源	212
有序奈米碳管結構	214
奈米碳管陣列	216
裝置	220
第一捲筒	224
第一擠壓裝置	230
屏蔽帶	242
第二捲筒	244
繞線架	246
第二擠壓裝置	250
第三捲筒	260

五、中文發明摘要：

一種線纜，包括至少一個纜芯、包覆於纜芯外的至少一個絕緣介質層、包覆於絕緣介質層外的至少一個屏蔽層和包覆於屏蔽層外的一個外護套，其中，該纜芯包括奈米碳管長線結構及導電材料層，該導電材料層包覆于奈米碳管長線結構表面。

六、英文發明摘要：

The present invention relates to a cable. The cable includes at least one conductive wire, at least one insulative layer, at least one shielding layer, and a sheath. Each conductive wire includes conductive material and a carbon nanotube yarn structure. The conductive material is disposed on a surface of the carbon nanotube yarn structure. Each insulative layer is respectively coated on the corresponding conducting wire. The shielding layer surrounds the insulative layer. The sheath wraps at least one shielding layer.

十、申請專利範圍

1. 一種線纜，包括至少一個纜芯、包覆於纜芯外的至少一個絕緣介質層、包覆於絕緣介質層外的至少一個屏蔽層和包覆於屏蔽層外的一個外護套，其改良在於，該纜芯包括奈米碳管長線結構及導電材料層，該導電材料層包覆於奈米碳管長線結構的外表面。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述的線纜，其中，所述奈米碳管長線結構包括至少一奈米碳管長線。
3. 如申請專利範圍第 2 項所述的線纜，其中，所述奈米碳管長線包括複數個沿其軸向擇優取向排列的奈米碳管。
4. 如申請專利範圍第 2 項所述的線纜，其中，所述奈米碳管長線包括複數個沿其軸向螺旋狀排列的奈米碳管。
5. 如申請專利範圍第 3 或 4 項所述的線纜，其中，所述奈米碳管長線結構中的奈米碳管包括單壁奈米碳管，雙壁奈米碳管或多壁奈米碳管，所述單壁奈米碳管的直徑為 0.5 奈米~50 奈米，雙壁奈米碳管的直徑為 1 奈米~50 奈米，多壁奈米碳管的直徑為 1.5 奈米~50 奈米。
6. 如申請專利範圍第 2 項所述的線纜，其中，所述奈米碳管長線結構包括複數個相互纏繞或平行成束的奈米碳管長線。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述的線纜，其中，所述奈米

碳管長線結構的直徑大於 4.5 奈米。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的線纜，其中，所述導電材料層至少包括一導電層。
9. 如申請專利範圍第 8 項所述的線纜，其中，所述導電層的材料為銅、銀、金或其合金，且厚度為 1 奈米~20 奈米。
10. 如申請專利範圍第 8 項所述的線纜，其中，所述導電材料層進一步包括一潤濕層設置於所述導電層與奈米碳管長線結構之間，所述潤濕層的材料為鎳、鈮、鈦或者其合金，厚度為 1 奈米~10 奈米。
11. 如申請專利範圍第 10 項所述的線纜，其中，所述導電材料層進一步包括一過渡層設置於所述導電層與潤濕層之間，所述過渡層的材料為銅、銀或者其合金，厚度為 1 奈米~10 奈米。
12. 如申請專利範圍第 8 項所述的線纜，其中，所述導電材料層進一步包括一抗氧化層設置於所述導電層外表面，所述抗氧化層的材料為金、鉑或者其合金，厚度為 1 奈米~10 奈米。
13. 如申請專利範圍第 12 項所述的線纜，其中，所述導電材料層進一步包括一強化層設置於所述抗氧化層外表面，所述強化層的材料為聚乙烯醇、聚苯撐苯並二噁唑、聚乙烯或聚氯乙烯，厚度為 0.1 微米~1 微米。
14. 如申請專利範圍第 1 項所述的線纜，其中，所述的線纜為同軸線纜，該同軸線纜包括由內至外同軸依次設

置的一個纜芯、包覆纜芯外表面的一個絕緣介質層、
包覆絕緣介質層外表面的一個屏蔽層和包覆屏蔽層
外表面的一個外護套。

15. 如申請專利範圍第 1 項所述的線纜，其中，所述的線
纜為同軸線纜，該同軸線纜包括複數個纜芯、複數個
分別包覆於每一個纜芯外的絕緣介質層、包覆於複數
個絕緣介質層外的一個屏蔽層和包覆於屏蔽層外的
一個外護套。
16. 如申請專利範圍第 1 項所述的線纜，其中，所述的線
纜為同軸線纜，該同軸線纜包括複數個纜芯、複數個
分別包覆於每一個纜芯外的絕緣介質層、複數個分別
包覆於每一個絕緣介質層外的屏蔽層和包覆於複數
個屏蔽層外的一個外護套。

十一、圖式：



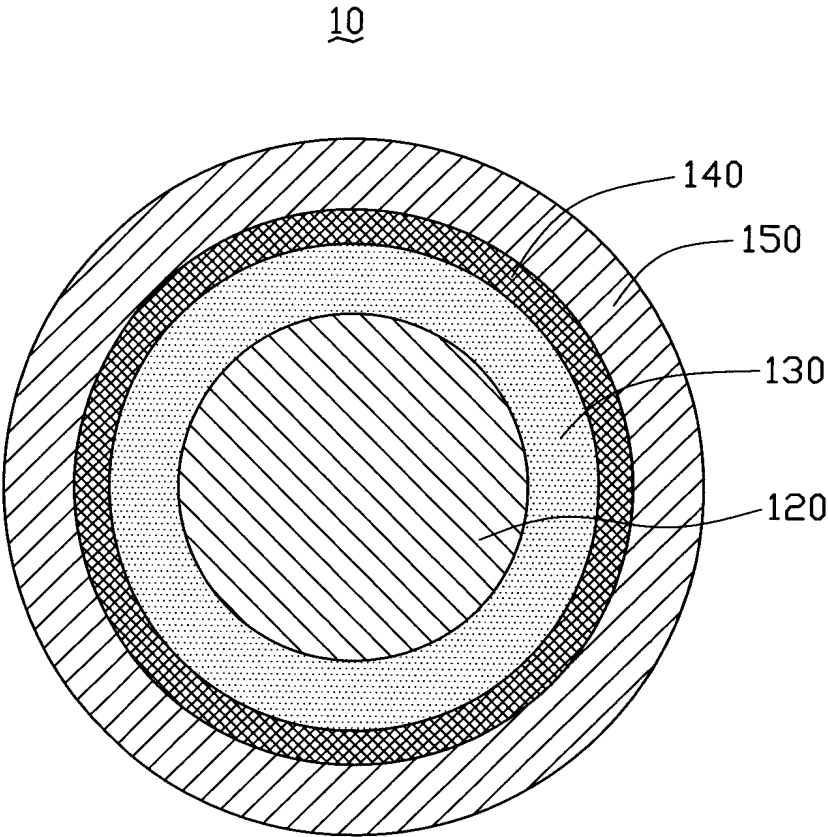
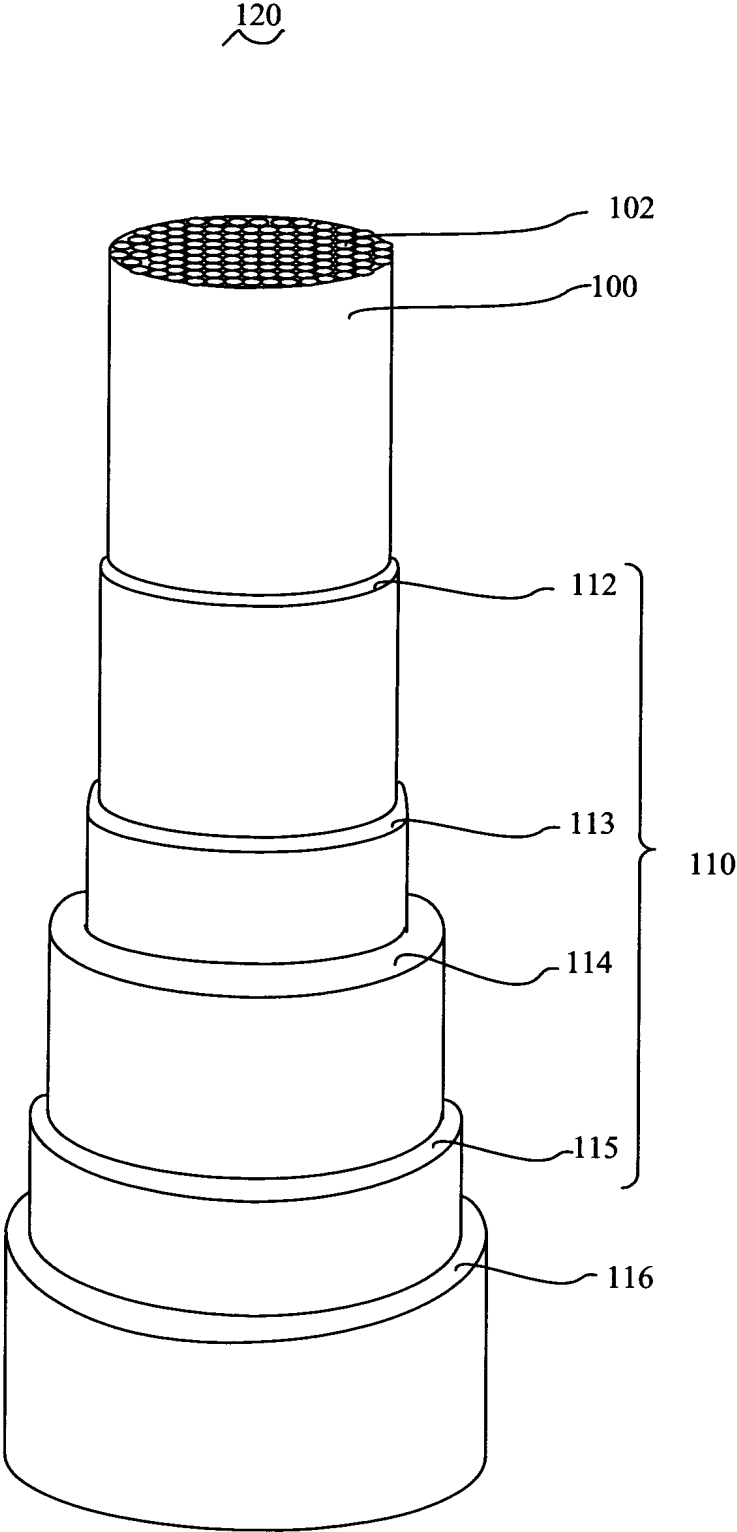


圖 1



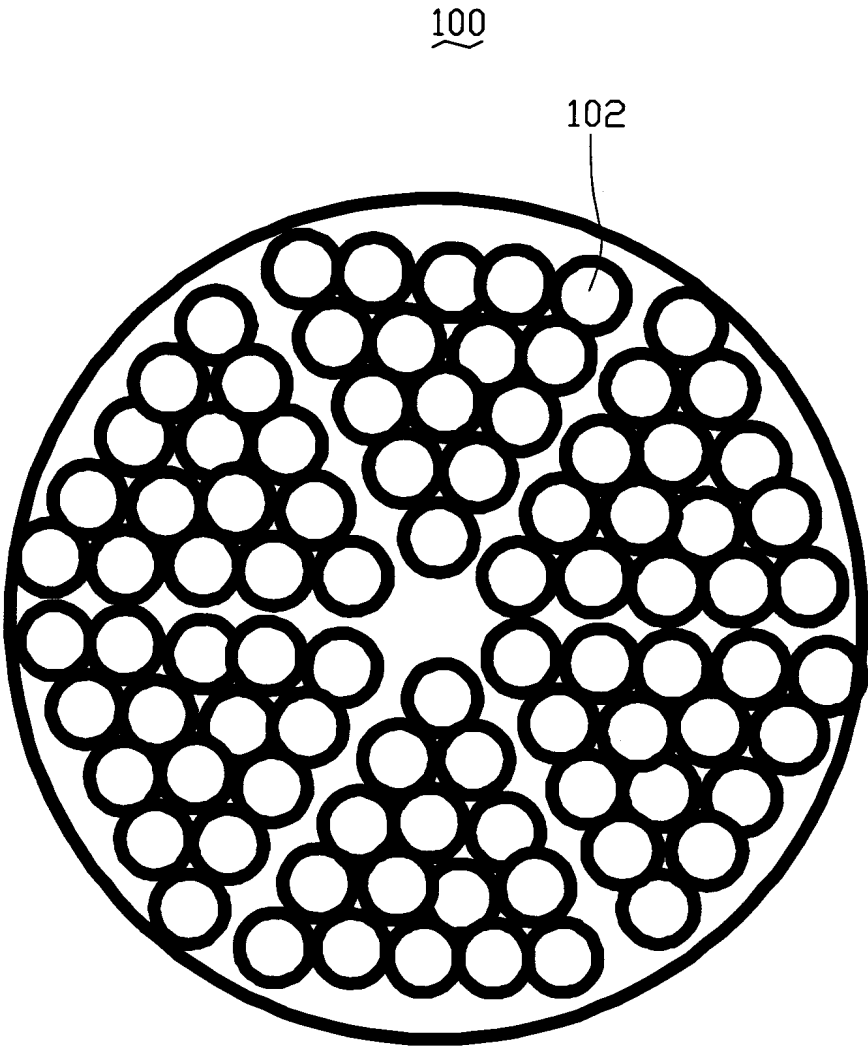
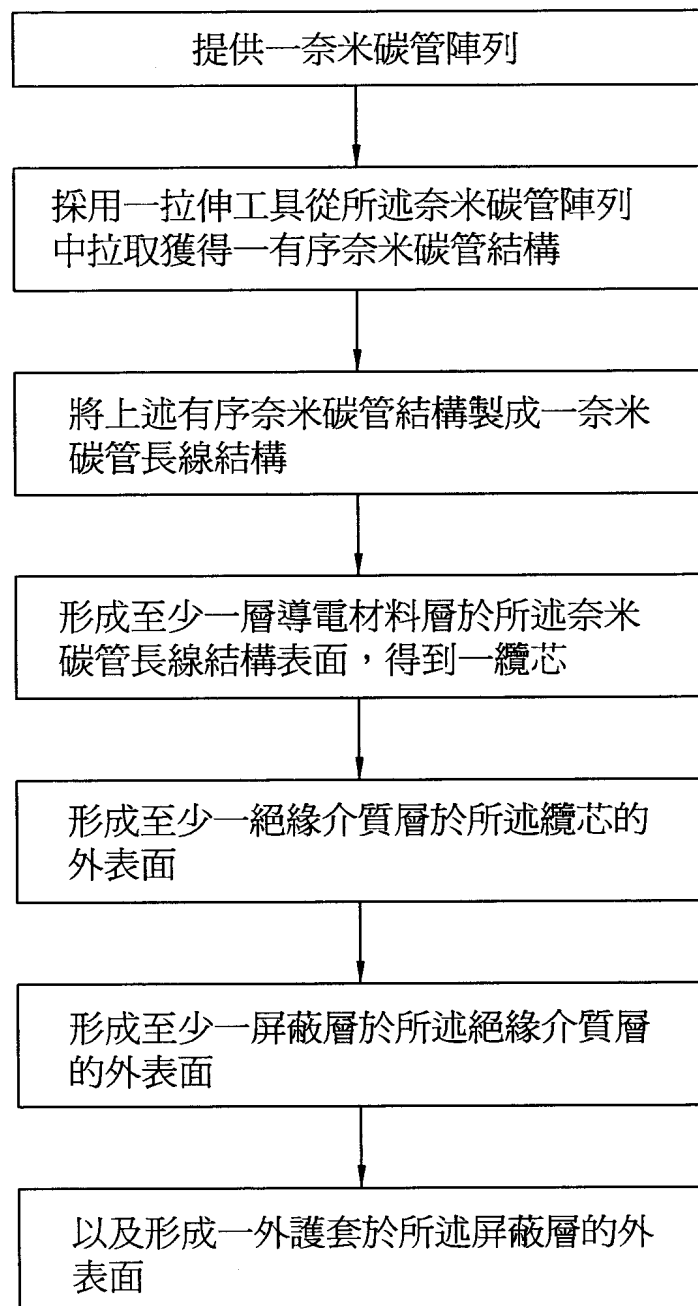


圖 3



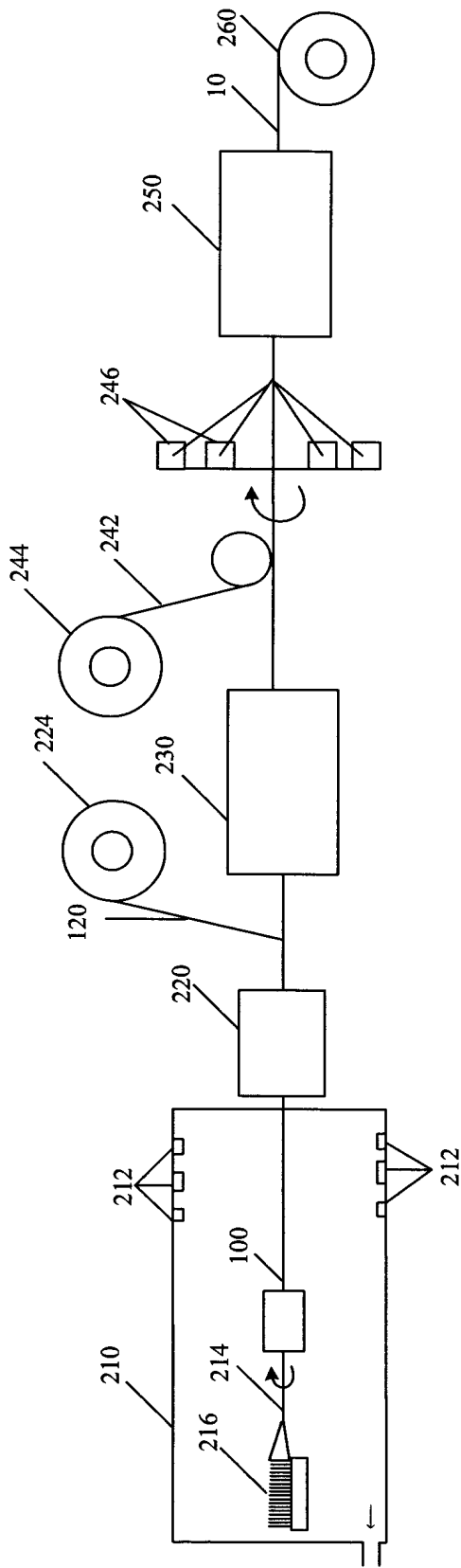
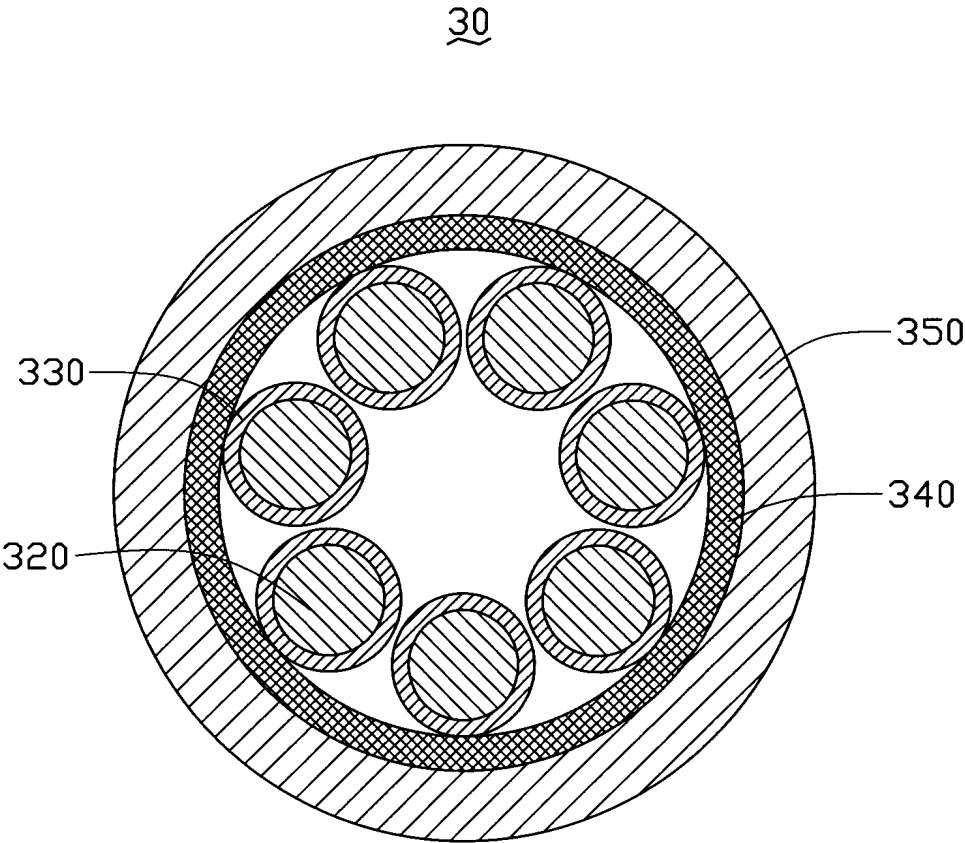
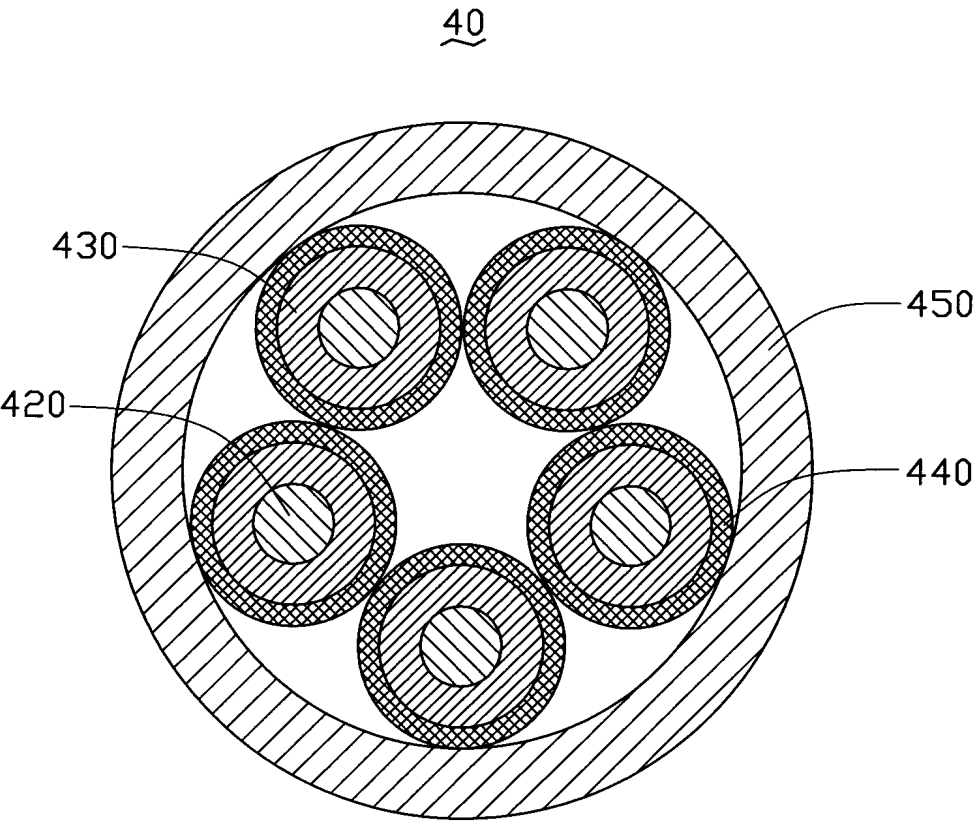


圖 7





七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖(1)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

線纜	10
纜芯	120
介質層	130
屏蔽層	140
外護套	150

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無