

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510137547.7

[51] Int. Cl.

C07D 471/04 (2006.01)

H01L 51/30 (2006.01)

H01L 51/46 (2006.01)

H01L 51/54 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年12月9日

[11] 授权公告号 CN 100567294C

[22] 申请日 2005.12.30

[21] 申请号 200510137547.7

[73] 专利权人 财团法人工业技术研究院

地址 中国台湾新竹县

[72] 发明人 叶树堂 沈国晖 黄贺隆

[56] 参考文献

US6387727B1 2002.5.14

US6608323B2 2003.8.19

US4611385A 1986.9.16

US6861664B2 2005.3.1

C60 thin film transistors. R. C. Haddon et. al. Appl. Phys. Lett., Vol. 67 No. 1. 1995

Evidence for n - Type Conduction in a PeryleneTetracarboxylicDiimide Derivative. Gilles Horowitz et. al. Advanced Materials, Vol. 8 No. 3. 1996

Field - effect transistors based on intrinsic molecularsemiconductors. Gerard GUILLAUD et. al. Chemical Physics Letters, Vol. 167 No. 6. 1990

审查员 蒋世超

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 封新琴 巫肖南

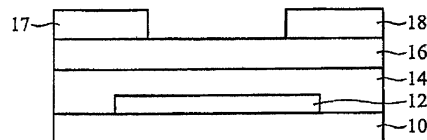
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 2 页

[54] 发明名称

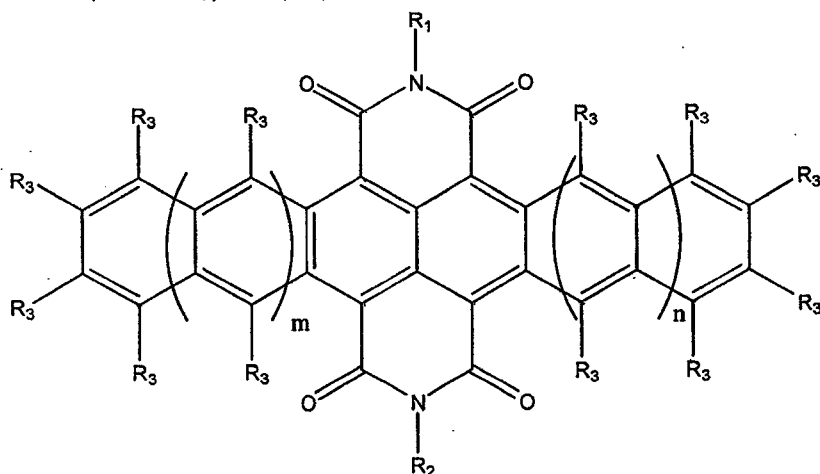
N 型有机半导体材料

[57] 摘要

本发明提供了一种 N 型有机半导体材料，为线型多芳香环的二酰亚胺衍生物。所述线型多芳香环的骨架具有分子间  $\pi - \pi$  作用力，可使分子堆栈整齐。而二酰亚胺氮原子上的取代基也有同样的效果。上述材料可提高电子迁移速率，应用包括作为栅极结构的信道区、有机发光二极管的电子传输层、或有机太阳能电池的 N 型材料。



1. 一种 N 型有机半导体材料，其结构如下：



m、n 为 0-5 的整数；

R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 各自独立地选自氢原子、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 环烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化环烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 杂环芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化杂环芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 烷芳基或 C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷芳基；以及

每一个 R<sub>3</sub> 各自独立地选自氢原子、氟、氯、溴、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 环烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化环烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 杂环芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化杂环芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 烷芳基或 C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷芳基；

其中所述 C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷基邻接氮原子的碳原子上的氢原子不被氟原子取代；

所述 C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化环烷基邻接氮原子的碳原子上的氢原子不被氟原子取代；

所述 C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷芳基邻接氮原子的碳原子上的氢原子不被氟原子取代。

## N型有机半导体材料

### 技术领域

本发明涉及一种N型有机半导体材料，特别涉及线型多芳香环的二酰亚胺衍生物。

### 背景技术

一般电路布局以互补式金氧半导体管(complementary MOS)为单元的设计具有操作省电的优点。由于CMOS包含两种晶体管：传空穴的PMOS与传电子的NMOS，因此同时需要P型与N型的半导体材料。有机半导体材料由于适用于热升华蒸镀、或旋转涂布法，因此在以玻璃为基板的应用上较广，特别是在光电产品领域。P型的有机半导体材料可作为PMOS的通道区，这种材料在应用上常称作P通道(P-channel)，其载流子(carrier，这里指的是空穴)迁移率为 $10^{-3}$ - $3\text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，已优于常见的非晶硅半导体(其载流子迁移率近似 $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ )。比如并五苯(pentacene)，其载流子迁移率已大于 $2\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

相比于P型的有机半导体材料，N型有机半导体的载流子(这里指的是电子)迁移率只有 $10^{-4}$ - $10^{-1}\text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，与P型相差十倍以上。空穴原本就比电子迁移的速度快，因此需要新颖材料克服此问题。如Appl. Phys. Lett. 1995, 67, 121-123中所披露的碳60衍生物，具有氧气敏感性且不够稳定，难以作为器件。如Katz等人发表的花四甲酸二酐(perylene tetracarboxylic dianhydride, PTCDA)、如Adv. Mater. 1996, 8, 242-244披露的N,N'-二苯基-3,4,9,10-花二甲酸二酰亚胺(N,N'-diphenyl-3,4,9,10-perylene dicarboxylic diimide, DP-PTCDI)、如Synth. Methods 1994, 66, 257-261所披露的掺杂的四氰基喹啉基二甲烷(tetracyanoquinodimethane, TCNQ)、如Chem. Phys. Lett. 1990, 167, 503-506所披露的双酞菁氰化物的稀土元素络合物等N型有机半导体材料，其载流子迁移率皆小于 $10^{-4}\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

如US 6387727 B1中Katz等人所披露的N型材料，为萘的二酐(dianhydride)衍生物或二酰亚胺(diimide)衍生物(取代于萘的1,8、4,5位置)。

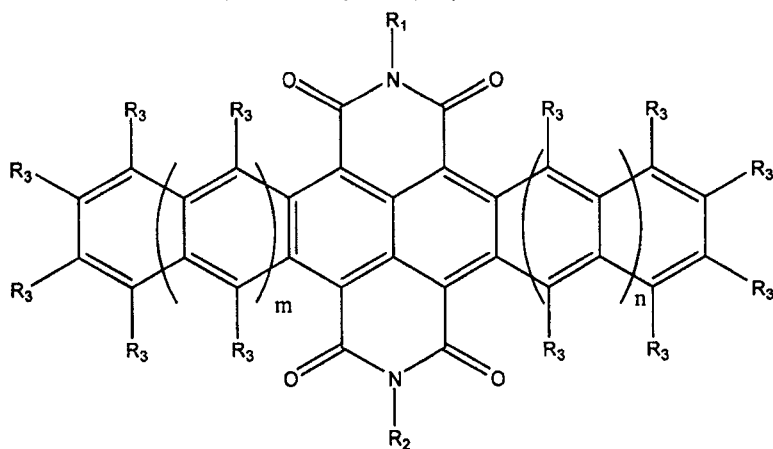
如 J. Am. Chem. Soc. 2000, 122, 11057-11066 中所披露的 N,N'-二烷基-3,4,9,10-双二酰亚胺萘(N,N'-dialkyl-3,4,9,10-perylenebiscarborboxiimide), 其氮上所接的烷基有庚烷基、十二烷基、十八烷基。氮上的长烷链具有液晶分子的性质, 可提高稳定性, 并诱导堆栈以增加载流子迁移率。类似的分子构型还包括了 J. Org. Chem. 1994, 59, 6484-6486 所披露的萘的二酰亚胺衍生物或二酰亚胺衍生物(取代于萘的 2,3、6,7 位置)。不过该论文以合成为主, 并未论及材料的应用。而 Ong 等人于 US 6861664 B2 中披露的 N 型材料, 则是萘的衍生物(取代于 1,8、4,5 位置)。由于在该专利中, 合成步骤一定会产生顺反异构体, 虽然该专利提到适用范围介于顺式: 反式为 95:5-5:95, 但顺反的构型一定会破坏分子堆栈的整齐度, 并降低载流子迁移率。

此外, 以噻吩(thiophene)的寡聚物(US 6608323)组成的 N 型材料, 由于堆栈上不似多芳香环的化合物整齐, 在形成器件后的载流子迁移率亦不佳。最后上述具有较高迁移率的 N 型半导体有机材料, 常具有热不稳定性及水气、氧气敏感性, 降低器件的操作寿命。

### 发明内容

本发明提供一种 N 型有机半导体材料, 为多芳香环四羧酸二酰亚胺的衍生物(poly-aromatic tetracarboxylic diimide derivatives)。该衍生物具有二酰亚胺作为吸电子的官能团, 用以提高电子的迁移率, 并以多种取代基修饰二酰亚胺以提高这种 N 型材料的稳定性。

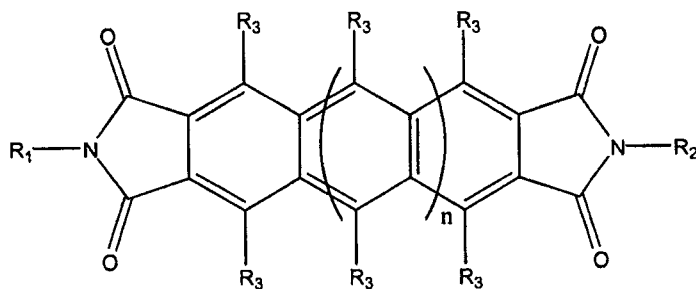
本发明提供一种 N 型有机半导体材料, 其结构如下:



m、n 各自独立地选自 0 或正整数; R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 各自独立地选自氢原子、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 环烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化环烷基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 杂环芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 氟化杂环芳香基、C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub> 烷

芳基或  $C_1-C_{20}$  氟化烷芳基；以及每一个  $R_3$  各自独立地选自氢原子、氟、氯、溴、 $C_1-C_{20}$  烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化烷基、 $C_1-C_{20}$  环烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1-C_{20}$  芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1-C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  烷芳基或  $C_1-C_{20}$  氟化烷芳基。

本发明还提供另一种 N 型有机半导体材料，其结构如下：



$n=1$  时， $R_1$ 、 $R_2$  各自独立地选自氢原子、 $C_1-C_{20}$  烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化烷基、 $C_1-C_{20}$  环烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1-C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  烷芳基或  $C_1-C_{20}$  氟化烷芳基；

$n$  为大于 1 的正整数时， $R_1$ 、 $R_2$  各自独立地选自氢原子、 $C_1-C_{20}$  烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化烷基、 $C_1-C_{20}$  环烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1-C_{20}$  芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1-C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  烷芳基或  $C_1-C_{20}$  氟化烷芳基；以及每一个  $R_3$  各自独立地选自氢原子、氟、氯、溴、 $C_1-C_{20}$  烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化烷基、 $C_1-C_{20}$  环烷基、 $C_1-C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1-C_{20}$  芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1-C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  烷芳基或  $C_1-C_{20}$  氟化烷芳基。

#### 附图说明

图 1 为本发明 N 型有机半导体材料应用于顶电极(top contact)的栅极结构的示意图。

图 2 为本发明 N 型有机半导体材料应用于底电极(bottom contact)的栅极结构的示意图。

图 3 为本发明的 N 型有机半导体材料应用于有机发光二极管的电子传输层的示意图。

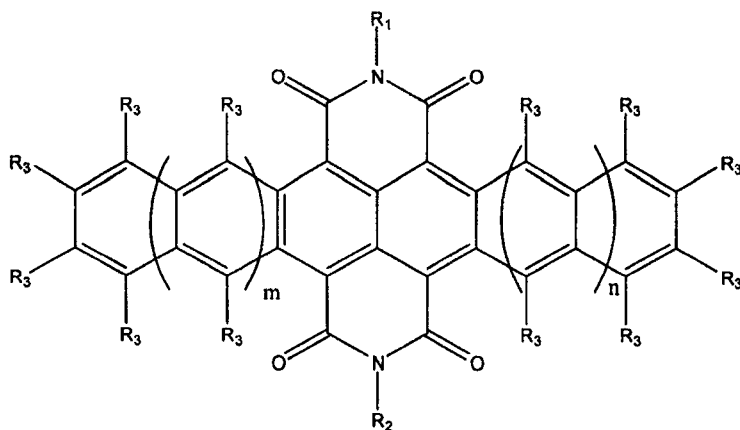
#### 主要附图标记说明

10、20、30~基板；12、22~栅极；14、24~绝缘层；16、26~通道区；

17、27~源极；18、28~汲极；31~阳极；32~空穴注入层；33~空穴传输层；34~发光层；35~电子传输层；36~电子注入层；37~阴极。

### 具体实施方式

为提高 N 型有机半导体材料的载流子迁移速度，本发明提供了一种 N 型有机半导体材料，其结构如下：



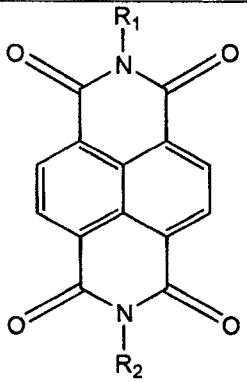
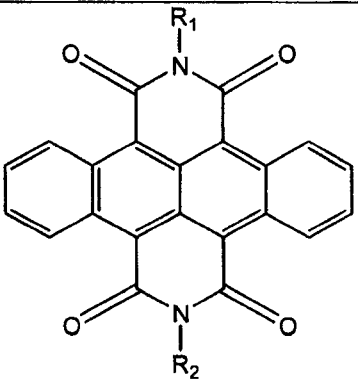
$m$ 、 $n$  各自独立地选自 0 或正整数； $R_1$ 、 $R_2$  各自独立地选自氢原子、 $C_1$ - $C_{20}$  烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  烷芳基或  $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷芳基；以及每一个  $R_3$  各自独立地选自氢原子、氟、氯、溴、 $C_1$ - $C_{20}$  烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  烷芳基或  $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷芳基。

上述结构主要是以线型多环作为分子骨架，多环间的  $\pi$ - $\pi$  作用力可帮助分子堆栈，而分子堆栈的好坏将影响载流子迁移率。两侧各具有一六环的二酰亚胺作为吸电子基以提高分子的亲电性，并在二酰亚胺的氮原子上修饰取代基，优选为长链烷基，使分子间产生错合作用(interdigitation)，可提高该分子的稳定性，同时可诱导该分子整齐排列。该取代基优选为氟化取代基，氟原子是电负性最强的元素，体积亦相当小，不会造成空间位阻而影响整个分子的构型。氟取代基可增加材料的热稳定性及对空气、水气的阻隔效果，而提高材料在空气下的稳定性。这里使用“氟化”(fluorinated)而不用“全氟化”(perfluorinated)的原因在于，本发明并不氟化该取代基邻接氮原子的碳原子。简而言之，即取代基的  $\alpha$  位置并不以氟原子取代，以避免氟原子的强电负性与二酰亚胺吸电子基竞争，反而降低氮原子的电负

性而降低载流子迁移率。

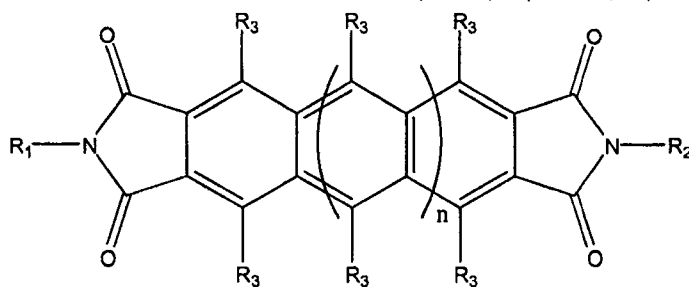
N型有机半导体的载流子迁移率受许多参数影响，如器件中汲极与源极间的距离，或通道区的厚度、材料。同一种材料，可能因为形成器件的技术导致不同的载流子迁移率。因此，在材料的研发上，我们使用较少受干扰的电子迁移能级代替载流子(电子)迁移率。经本发明的实验发现，当多环的数目越多时，电子迁移能级越低，实验结果如下表：

表 1

材料结构		
电子迁移能级	1.69 kcal/mol	1.17 kcal/mol

由上述比较可了解，增加多环的数目可降低分子的电子迁移能级，并进一步增加其作为材料时的载流子迁移率。随着多环数目的增加，电子迁移能级将慢慢地降低，因此本发明的材料特性是其电子迁移能级小于 1.2 kcal/mol。由于降低到一极限即有可能不再下降，且因多环合成技术上的复杂度，环的数目优选为整数 4-14。

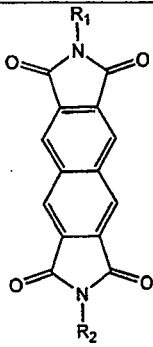
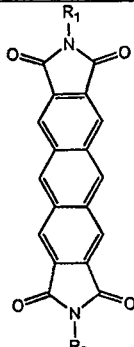
本发明亦提供另一种 N 型有机半导体材料，其结构如下：



$n=1$  时， $R_1$ 、 $R_2$  各自独立地选自氢原子、 $C_1$ - $C_{20}$  烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  杂环芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  烷芳基或  $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷芳基。 $n$  为大于 1 的正整数时， $R_1$ 、 $R_2$  各自独立地选自氢原子、 $C_1$ - $C_{20}$  烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化环烷基、 $C_1$ - $C_{20}$  芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$  氟化芳香基、 $C_1$ - $C_{20}$

杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  氟化杂环芳香基、 $C_1-C_{20}$  烷芳基或  $C_1-C_{20}$  氟化烷芳基。与前一种材料的分子设计相同，使用线型多环作为分子骨架，多环间的  $\pi$ - $\pi$  作用力可帮助分子堆栈。多环的末端各具有五环的二酰亚胺作为吸电子基以提高分子的电子亲核性，并在二酰亚胺的氮原子上修饰取代基，优选为长链烷基，使分子间产生错合作用，可提高该分子的稳定性，同时可诱导该分子整齐排列。该取代基优选为氟化取代基，氟原子是电负性最强的元素，体积亦相当小，不会造成空间位阻而影响整个分子的构型。氟取代基可增加材料的热稳定性及对空气、水气的阻隔效果，而提高材料在空气下的稳定性。这里使用“氟化”而不用“全氟化”的原因在于，本发明并不氟化该取代基邻接氮原子的碳原子。如同前一种材料，取代基的  $\alpha$  位置并不以氟原子取代，以避免氟原子的强电负性与二酰亚胺吸电子基竞争，反而降低氮原子的电负性而降低载流子迁移率。与前一种结构类似，此结构的多环数目越多，其电子迁移能级越低，如表 2 所述：

表 2

材料结构		
电子迁移能级	1.31 kcal/mol	1.20 kcal/mol

由上述比较可了解，增加多环的数目可降低分子的电子迁移能级，并进一步增加其作为材料时的载流子迁移率。随着多环数目的增加，电子迁移能级将慢慢地降低，因此本发明的材料特性是其电子迁移能级小于 1.25 kcal/mol。由于降低到一极限即有可能不再下降，且因多环合成技术上的复杂度，多环的数目优选为整数 3-12。

上述两种结构均可作为栅极结构中连接源极与汲极的通道区。如图 1 所示为一顶电极(top contact)结构，在基板 10 上形成栅极 12，毯覆性地形成绝缘层 14 后，以本发明的 N 型有机半导体材料形成通道区 16，最后再形成汲极 17 与源极 18。或者如图 2 所示的底电极(bottom contact)结构，在基



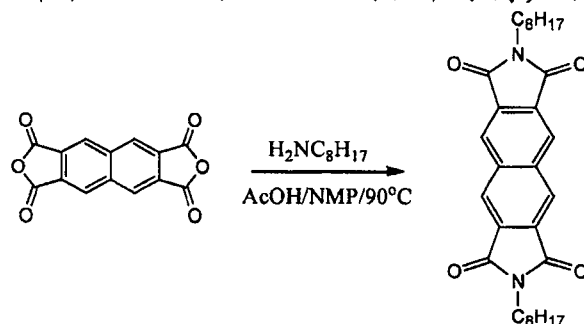
板 20 上形成栅极 22，毯覆性地形成绝缘层 24 后，形成汲极 27 与源极 28，最后再以本发明的 N 型有机半导体材料形成通道区 26。这两种结构广泛应用于薄膜晶体管，特别是在液晶显示器的玻璃基板上。当然，本发明的有机材料应用进一步包括硅基底的栅极结构。源极、汲极的材料可为 Au、Cr、Al、Mo、Cu、ITO、Si、或有机材料聚(3,4-乙炔基二氧基噻吩/聚苯乙烯磺酸钠(PEDOT/PSS, (Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)/Poly(styrenesulfonate))). 基板包括玻璃、有机高分子材料聚乙烯萘二甲酸酯(PEN, poly(ethylene naphthalate)), 聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET, polyethylene terephthalate), 聚丙烯(PP, polypropylene), 聚酰亚胺(PI, polyimide)、或金属箔。绝缘层包括二氧化硅、氮化硅、氧化铝、或聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA, Polymethyl Methacrylate)。

上述材料亦可作为有机发光器件(OLED)的电子传输层。如图 3 所示的 OLED 结构，通常包括了基底 30，依序在基底上形成的阳极 31、空穴注入层 32、空穴传输层 33、发光层 34、电子传输层 35、电子注入层 36、阴极 37。各层的厚度和材质自可由现有技术调整，但本发明的 N 型半导体材料可应用于电子传输层 35 使电子自阴极 37 快速地到达发光层 35。

### 优选实施例

#### 比较实施例 1

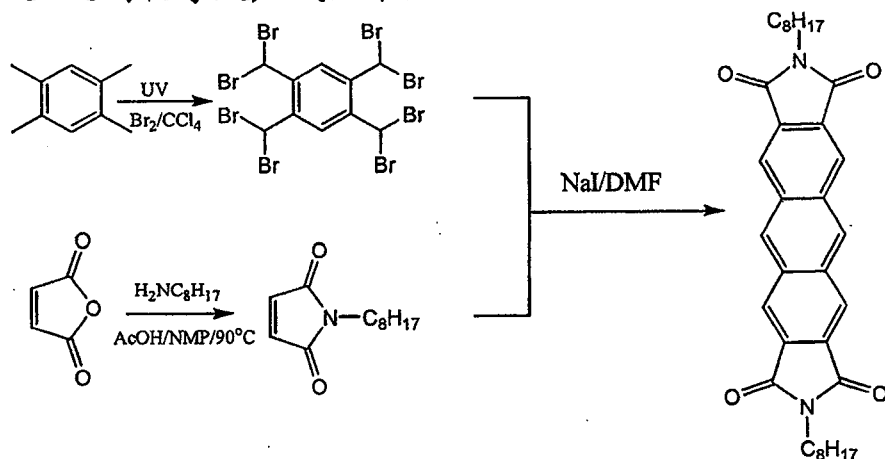
取现有技术的 1,4,5,8-萘四甲酸二酐(1,4,5,8-naphthalene tetracarboxylic dianhydride, 5.00 g, 18.64 mmol)与 N-辛基胺(5.3 g, 41.01 mmol) 于醋酸/甲基吡咯啉的混合溶液中在 90°C 反应 20 小时，即可得产物，其反应如下式：



#### 实施例 1

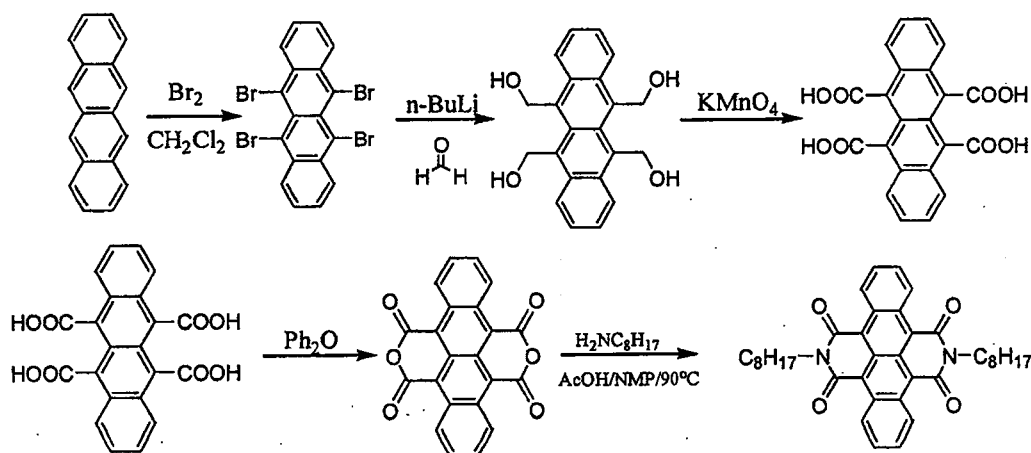
以 1,2,4,5-四甲基苯(3.00 g, 22.35 mmol)与 11.48 mL 溴(223.5 mmol)的四氯化碳溶液于 3000 埃的紫外光照射下，回流 6 小时后得到 1,2,4,5-二溴

化甲基苯(5.13 g, 6.70 mmol)。取顺丁酰二酸酐(2.00 g, 20.40 mmol)与 N-辛基胺(3.16 g, 24.48 mmol)于醋酸/甲基吡咯啉的混合溶液于 90°C 反应 20 小时, 得到 N-辛基-2,4-二酮基-3-二氢吡咯(3.88 g, 18.56 mmol)。取 1,2,4,5-二溴化甲基苯(5.13 g, 7.70 mmol)与 N-辛基-2,4-二酮基-3-二氢吡咯(3.08 g, 14.74 mmol)溶于 DMF 下, 加入碘化钠(0.75 g, 5.00 mmol), 搅拌 24 小时后即得产物。上述的化学反应式如下:



### 实施例 2

取 2,3-苯并蒽(2,3-benzanthracene, 5.00 mL, 21.90 mmol)溶于二氯甲烷(40 mL)后于室温下通溴气, 在 8 小时后抽干纯化, 得到 1,4,9,10-四溴-2,3-苯并蒽, 将其溶于 45 mL THF 之后, 于 -78°C 慢慢滴入正丁基锂(2.5 N, 43.8 mL, 4.2eq), 30 分钟后加入 3.29 g 甲醛, 12 小时后以二氯甲烷萃取后抽干, 得到 1,4,9,10-四羟基甲基-2,3-苯并蒽, 将其溶于二氯甲烷(60 mL)后加入过锰酸钾, 将羟基氧化成羧基后于苯醚下进行缩环反应。上述反应的中间产物与 N-辛基胺(3.47 g, 9.42 mmol) 于醋酸/甲基吡咯啉的混合溶液于 90°C 反应 20 小时, 即可得产物, 其反应如下式:



### 实施例 3

#### 载流子迁移率 ( $\mu$ ) 与临界电压 ( $V_T$ ) 的比较

1. 当  $V_{DS}$  为小电压时 (线性区):

$$I_{DS} = \frac{1}{2} \mu C_i \frac{W}{L} [2(V_G - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$$

其中  $I_{DS}$  为汲极电流,  $\mu$  为载流子迁移率,  $W$ 、 $L$  分别为晶体管通道中的宽度及长度 (通常为 10: 1),  $C_i$  是单位面积绝缘层的电容值,  $V_G$  是栅极电压,  $V_T$  是临界电压 (threshold voltage)。

2. 当  $V_{DS}$  越来越大 (饱和区), 而使汲极电流 ( $I_{DS}$ ) 达到饱和时:

$$I_{DS,.sat.} = \frac{1}{2} \mu C_i \frac{W}{L} (V_G - V_T)^2$$

$$(I_{DS,.sat.})^{1/2} = \left(\frac{1}{2} \mu C_i \frac{W}{L}\right)^{1/2} (V_G - V_T)$$

因此可利用  $(I_{DS,.sat.})^{1/2}$  对  $V_G$  作图, 作线性回归, 可由此回归线的斜率推算出载流子迁移率 ( $\mu$ ), 并由回归线与 X 轴的截距求得  $V_T$ 。

表 3

	比较实施例 1	实施例 1	实施例 2
顶电极通道的载流子迁移率	$1 \cdot 10^{-3} \text{cm}^2/\text{V-s}$	$0.015 \text{cm}^2/\text{V-s}$	$0.025 \text{cm}^2/\text{V-s}$
底电极通道的载流子迁移率	$1 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2/\text{V-s}$	$0.002 \text{cm}^2/\text{V-s}$	$0.007 \text{cm}^2/\text{V-s}$
开/关电流比 (ION/IOFF)	$I_{on}/I_{off} = 2 \cdot 10^4$	$I_{on}/I_{off} = 1 \cdot 10^5$	$I_{on}/I_{off} = 2 \cdot 10^5$

由上述比较, 可知本发明的 N 型半导体材料在顶电极或底电极的应用上, 与现有技术的 N 型半导体材料相比较, 具有较佳的载流子迁移率及开关电流比。以图 1 的顶电极为例, 实施例 1、2 较比较实施例 1 的载流子迁移率高出 15 倍至 20 倍; 以图 2 的底电极为例, 实施例 1、2 较比较实施例 1 的载流子迁移率高出 20 倍至 70 倍。而不论是哪种结构, 实施例 1、2 均较比较实施例 1 的开关电流比高出 50-100 倍。因此不论是半导体栅极的信

道区、OLED的电子传导层、或太阳能电池等器件，本发明较现有技术更适合作为N型材料。

虽然本发明已以多个优选实施例披露如上，然其并非用以限定本发明，任何本领域的技术人员，在不脱离本发明的精神和范围内，应当可作任意的更动与润饰，因此本发明的保护范围当以所附权利要求书限定的为准。

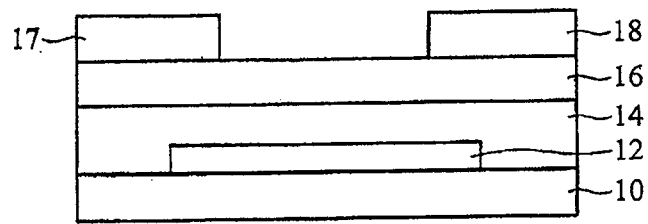


图 1

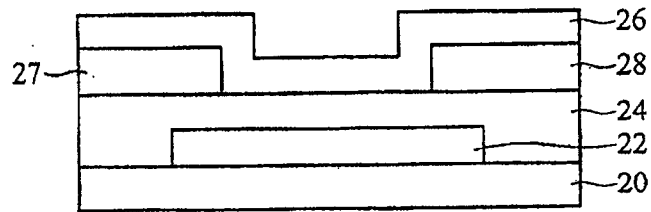


图 2

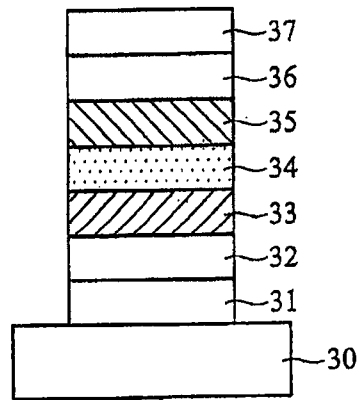


图 3