

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6656865号
(P6656865)

(45) 発行日 令和2年3月4日 (2020. 3. 4)

(24) 登録日 令和2年2月7日 (2020. 2. 7)

(51) Int. Cl.	F I
H 0 5 B 33/14 (2006. 01)	H 0 5 B 33/14 Z
H 0 5 B 33/02 (2006. 01)	H 0 5 B 33/02
H 0 5 B 33/04 (2006. 01)	H 0 5 B 33/04
H 0 5 B 33/20 (2006. 01)	H 0 5 B 33/20
H 0 5 B 33/22 (2006. 01)	H 0 5 B 33/22 Z

請求項の数 48 (全 51 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-193246 (P2015-193246)	(73) 特許権者	390019839
(22) 出願日	平成27年9月30日 (2015. 9. 30)		三星電子株式会社
(65) 公開番号	特開2016-76484 (P2016-76484A)		S a m s u n g E l e c t r o n i c s
(43) 公開日	平成28年5月12日 (2016. 5. 12)		C o . , L t d .
審査請求日	平成30年9月3日 (2018. 9. 3)		大韓民国京畿道水原市靈通区三星路129
(31) 優先権主張番号	10-2014-0133557		129, S a m s u n g - r o , Y e o n
(32) 優先日	平成26年10月2日 (2014. 10. 2)		g t o n g - g u , S u w o n - s i , G
(33) 優先権主張国・地域又は機関	韓国 (KR)		y e o n g g i - d o , R e p u b l i c
			o f K o r e a
		(74) 代理人	100133400
			弁理士 阿部 達彦
		(74) 代理人	100110364
			弁理士 実広 信哉
		(74) 代理人	100154922
			弁理士 崔 允辰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ストレッチャブル／フォールダブル光電子素子及びその製造方法、並びに該光電子素子を含む装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有する基板と、
前記基板上に具備され、グラフェン層及び量子ドット含有層を含み、波状構造を有して伸びる特性を有する光電子素子部と、
前記光電子素子部の一面に具備されたプラスチック物質層と、を具備し、
前記基板と前記プラスチック物質層との間に、前記光電子素子部が具備されたことを特徴とする、ストレッチャブル光電子素子。

【請求項 2】

前記光電子素子部上に、弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有するキャッピング層をさらに具備することを特徴とする請求項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 3】

前記光電子素子部は、力学的中立面 (MNP) あるいはその近傍に位置することを特徴とする請求項 2 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 4】

前記プラスチック物質層は、ポリエチレンナフタレート (PEN)、ポリイミド (PI)、ポリエチレンテレフタレート (PET) のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 5】

前記プラスチック物質層は、0.5 μm～30 μmの厚みを有することを特徴とする請

10

20

求項 1 ないし 4 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 6】

前記光電子素子部の波状構造の平均波長は、 $10\ \mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ であり、平均振幅は、 $100\text{nm} \sim 1\text{mm}$ であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 7】

前記光電子素子部は、発光素子部、光発電素子部及び光検出素子部のうちいずれか一つであることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 8】

前記光電子素子部は、前記基板側から順に具備された、第 1 電極、発光層及び第 2 電極を含み、

前記第 1 電極及び第 2 電極のうち一つは、正極であり、前記正極は、前記グラフェン層を含み、

前記発光層は、前記量子ドット含有層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 9】

前記光電子素子部は、

前記第 1 電極及び第 2 電極のうちの正極と、前記発光層との間に具備された正孔輸送層と、

前記第 1 電極及び第 2 電極のうちの負極と、前記発光層との間に具備された電子輸送層と、のうち少なくとも 1 層をさらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 10】

前記光電子素子部は、

前記正極と前記正孔輸送層との間に具備された正孔注入層をさらに含むことを特徴とする請求項 9 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 11】

前記光電子素子部は、前記グラフェン層に接触したポリ（3，4-エチレンジオキシチオフェン）（PEDOT）層をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 12】

前記グラフェン層は、p 型ドーパントでドーピングされたことを特徴とする請求項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 13】

前記基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含み、選択的に、

前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 14】

前記キャッピング層の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含み、選択的に、

前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 15】

前記ストレッチャブル光電子素子は、5 % 以上の変形率を有することを特徴とする請求

10

20

30

40

50

項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 1 6】

前記ストレッチャブル光電子素子は、フォールダブル素子であることを特徴とする請求項 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 1 7】

請求項 1 ないし 1 6 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子を含む装置。

【請求項 1 8】

弾性ポリマーを含む第 1 物質層と、

前記第 1 物質層に対向し、弾性ポリマーを含む第 2 物質層と、

前記第 1 物質層及び第 2 物質層の間に具備され、量子ドットを有する発光層を含み、前記発光層の発光面が伸びたり折れ曲がったりするように構成された発光素子部と、

前記第 2 物質層と前記発光素子部との間に具備されたプラスチック層と、を具備する発光素子。

【請求項 1 9】

前記発光素子部は、グラフェン層をさらに含み、

前記グラフェン層は、前記第 1 物質層と前記発光層との間、または前記第 2 物質層と前記発光層との間に配置されたことを特徴とする請求項 1 8 に記載の発光素子。

【請求項 2 0】

前記グラフェン層は、前記プラスチック層と前記量子ドット含有層との間に配置されたことを特徴とする請求項 1 9 に記載の発光素子。

【請求項 2 1】

前記プラスチック層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 8 に記載の発光素子。

【請求項 2 2】

前記発光素子部は、前記第 1 物質層側または第 2 物質層側から順に具備された、第 1 電極、正孔輸送層、前記発光層、電子輸送層及び第 2 電極を含み、

前記第 1 電極は、グラフェンを含むことを特徴とする請求項 1 8 に記載の発光素子。

【請求項 2 3】

前記発光素子部は、波状構造を有することを特徴とする請求項 1 8 ないし 2 2 のうちいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 2 4】

前記第 1 物質層の弾性ポリマー、及び前記第 2 物質層の弾性ポリマーのうち少なくとも一つは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含み、選択的に、

前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 8 に記載の発光素子。

【請求項 2 5】

請求項 1 8 ないし 2 4 のうちいずれか 1 項に記載の発光素子を含む装置。

【請求項 2 6】

第 1 基板上にプラスチック層を形成する段階と、

前記プラスチック層上に、グラフェン層及び量子ドット含有層を含む光電子素子部を形成する段階と、

前記第 1 基板から、前記プラスチック層と光電子素子部とを含む積層構造物を分離する段階と、

弾性ポリマーを含む第 2 基板を水平方向に引っ張った状態で、前記第 2 基板上に、前記積層構造物を付着させる段階と、

前記第 2 基板に対する引っ張りを解除し、前記光電子素子部に波状構造を形成する段階

10

20

30

40

50

と、を含み、

前記第2基板上に、前記積層構造物を付着させる段階において、

前記光電子素子部が、前記第2基板と前記プラスチック層との間に配置されることを特徴とする、ストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項27】

前記光電子素子部上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層を形成する段階をさらに含むことを特徴とする請求項26に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項28】

前記プラスチック層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項26に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項29】

前記光電子素子部を形成する段階は、前記プラスチック層上に、第1電極、正孔輸送層、発光層、電子輸送層及び第2電極を順に形成する段階を含み、

前記第1電極は、前記グラフェン層を含み、前記発光層は、前記量子ドット含有層を含むことを特徴とする請求項26に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項30】

前記第2基板と前記光電子素子部との間に接着層がさらに具備されることを特徴とする請求項26に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項31】

前記第2基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含み、選択的に、

前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項26に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項32】

前記キャッピング層の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含み、選択的に、

前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項27に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項33】

前記第1基板は、剛性基板上に具備されたポリマー基板を含み、前記剛性基板は、前記ポリマー基板よりも高い剛性を有することを特徴とする請求項26に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項34】

弾性ポリマーを含む基板を水平方向に引っ張る段階と、

前記引っ張られた基板上に、グラフェン層及び量子ドット含有層を含む光電子素子部、並びに、前記前記光電子素子部の一面に具備されたプラスチック物質層を形成する段階と、

前記基板に対する引っ張りを解除し、前記光電子素子部に波状構造を形成する段階と、を含み、

前記基板と前記プラスチック物質層との間に、前記光電子素子部が具備されたことを特徴とする、ストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項35】

前記光電子素子部を形成する段階において、

前記グラフェン層は、前記基板に接触することを特徴とする請求項34に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項 3 6】

前記光電子素子部を形成する段階は、前記基板上に、第 1 電極、正孔輸送層、発光層、電子輸送層及び第 2 電極を順に形成する段階を含み、

前記第 1 電極は、前記グラフェン層を含み、前記発光層は、前記量子ドット含有層を含むことを特徴とする請求項 3 4 に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項 3 7】

前記光電子素子部は、他の基板上に形成された後、前記引っ張られた基板上に付着され、
前記引っ張られた基板と前記グラフェン層との間に、前記量子ドット含有層が配置されることを特徴とする請求項 3 4 に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

10

【請求項 3 8】

前記光電子素子部上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層を形成する段階をさらに含むことを特徴とする請求項 3 4 ないし 3 7 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

【請求項 3 9】

前記基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含み、選択的に、

前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 3 4 に記載のストレッチャブル光電子素子の製造方法。

20

【請求項 4 0】

弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有する基板と、
前記基板上に具備された光電子素子部と、
前記前記光電子素子部の一面に具備されたプラスチック物質層と、を含み、
前記光電子素子部は、グラフェン層及びアクティブ層を含み、
前記アクティブ層は、前記グラフェン層上に、または前記グラフェン層と前記基板との間に具備され、
前記アクティブ層は、量子ドット、発光ナノ物質及び遷移金属ダイカルコゲナイドのうち少なくとも一つを含み、
前記光電子素子部は、引っ張り応力が印加されていない状態で波状構造を有し、
前記光電子素子部は、引っ張り応力が印加された程度によって、前記波状構造から平面形構造に変形されるように構成され、
前記プラスチック物質層は、前記光電子素子部上に具備されたことを特徴とする、ストレッチャブル光電子素子。

30

【請求項 4 1】

前記基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン（PU）、ポリウレタンアクリレート（PUA）、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 4 0 に記載のストレッチャブル光電子素子。

40

【請求項 4 2】

前記光電子素子部上に具備されたキャッピング層をさらに含み、
前記光電子素子部は、前記基板と前記キャッピング層との間に具備され、
前記キャッピング層は、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン（PU）、ポリウレタンアクリレート（PUA）、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 4 0 または 4 1 に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 4 3】

前記アクティブ層は、量子ドットを含み、
前記量子ドットは、単層構造または多層構造を形成することを特徴とする請求項 4 0 な

50

いし 4 2 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 4 4】

前記グラフェン層は、前記光電子素子部の第 1 電極であり、

前記光電子素子部は、前記アクティブ層に連結された第 2 電極をさらに含み、

前記光電子素子部は、前記グラフェン層と前記アクティブ層との間に具備された正孔輸送層、及び前記第 2 電極と前記アクティブ層との間に具備された電子輸送層のうち少なくとも 1 層をさらに含むことを特徴とする請求項 4 0 ないし 4 3 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 4 5】

前記アクティブ層は、前記正孔輸送層及び前記電子輸送層のうち少なくとも 1 層に直接接触したことを特徴とする請求項 4 4 に記載のストレッチャブル光電子素子。

10

【請求項 4 6】

前記プラスチック物質層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 4 0 ないし 4 5 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子。

【請求項 4 7】

請求項 4 0 ないし 4 6 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子を含む電子パッチと、

前記電子パッチと、データ及び電力信号を交換するように構成されたモバイル機器素子と、を含むセンサシステム。

20

【請求項 4 8】

請求項 4 0 ないし 4 6 のうちいずれか 1 項に記載のストレッチャブル光電子素子を含むセンシングユニットと、

前記センシングユニットに連結されたフィルタ回路と、

前記フィルタ回路に連結された利得増幅回路と、を含むセンサ回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、引っ張ったり折り曲げたりすることができる光電子素子（すなわち、stretchable and/or foldable optoelectronic device）及びその製造方法、並びに前記光電子素子を含む装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

最近、反る（可撓性）電子装置、すなわち、フレキシブル（flexible）電子装置への関心が高まっている。フレキシブルエレクトロニクス（flexible electronics）は、プラスチックのように反る基板に電子素子を実装し、曲げたり折り曲げられたりすることができる電子回路／装置を具現する技術である。特に、フレキシブルエレクトロニクスは、ディスプレイ（display）分野において次世代技術として注目されている。

【0003】

フレキシブル電子装置と共に、伸びる（引っ張り可能）電子装置、すなわち、ストレッチャブル電子装置（stretchable electronic device）の必要性も増大している。フレキシブル電子装置は、全体長はそのまま維持しながら可撓性装置であるのに対し、ストレッチャブル電子装置は、反るだけではなく、長さが長くなる装置である。ストレッチャブルエレクトロニクス（stretchable electronics）は、電子機器の新しい適用分野を可能にする技術として期待されている。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明が解決しようとする課題は、優秀な特性を有するストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（stretchable/foldable optoelectronic device）を提供することである

50

。

【0005】

本発明が解決しようとする課題はまた、グラフェン及び／または量子ドット含有層を含むストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を提供することである。

【0006】

本発明が解決しようとする課題はまた、耐久性にすぐれるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を提供し、反復的なストレッチング (stretching) 及び／または折り曲げ (folding) 動作において、特性及び効率の低下なしに、正常に駆動することができるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を提供することである。

【0007】

10

本発明が解決しようとする課題はまた、アクティブ面 (例えば、発光面) 自体が伸びたり折り曲がったりするストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を提供することである。

【0008】

本発明が解決しようとする課題はまた、前記ストレッチャブル／フォールダブル光電子素子の製造方法を提供することである。

【0009】

本発明が解決しようとする課題はまた、前記ストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を含む装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

20

【0010】

本発明の一側面 (aspect) によれば、弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有する基板；及び前記基板の上に具備され、グラフェン層及び量子ドット含有層を含み、波状構造 (wavy structure) を有して伸びる特性を有する光電子素子部；を具備するストレッチャブル光電子素子 (stretchable optoelectronic device) が提供される。

【0011】

前記光電子素子部上に、弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有するキャッピング層がさらに具備されてもよい。

【0012】

前記光電子素子部は、力学的中立面 (mechanical neutral plane) あるいはその近傍に位置することができる。

30

【0013】

前記光電子素子部の一面に具備されたプラスチック物質層をさらに含んでもよい。前記基板と前記光電子素子部との間に、前記プラスチック物質層が具備されるか、前記基板と前記プラスチック物質層との間に、前記光電子素子部が具備されてもよい。

【0014】

前記プラスチック物質層は、ポリエチレンナフタレート (PEN)、ポリイミド (PI)、ポリエチレンテレフタレート (PET) のうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0015】

前記プラスチック物質層は、 $0.5\ \mu\text{m} \sim 30\ \mu\text{m}$ ほどの厚みを有することができる。

40

【0016】

前記光電子素子部の波状構造の平均波長 (average wavelength) は、 $10\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ ほどでもあり、平均振幅 (average amplitude) は、 $100\ \text{nm} \sim 1\ \text{mm}$ ほどでもある。

【0017】

前記光電子素子部は、発光素子部 (light emitting device portion)、光発電素子部 (photovoltaic device portion) 及び光検出素子部 (photo-detecting device portion) のうちいずれか一つでもある。

【0018】

前記光電子素子部は、前記基板側から順に具備された、第1電極、発光層及び第2電極を含み、前記第1電極及び第2電極のうち一つは、正極 (anode) であり、前記正極は、

50

前記グラフェン層を含み、前記発光層は、前記量子ドット含有層を含んでもよい。

【0019】

前記光電子素子部は、前記第1電極及び第2電極のうちの正極と前記発光層との間に具備された正孔輸送層；及び前記第1電極及び第2電極のうちの負極（cathode）と前記発光層との間に具備された電子輸送層；のうち少なくとも1層をさらに含んでもよい。

【0020】

前記光電子素子部は、前記正極と前記正孔輸送層との間に具備された正孔注入層をさらに含んでもよい。

【0021】

前記光電子素子部は、前記グラフェン層に接触したPEDOT（ポリ（3，4-エチレンジオキシチオフェン））層をさらに含んでもよい。

10

【0022】

前記グラフェン層は、p型ドーパントでドーピングされてもよい。

【0023】

前記基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に（optionally）、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

20

【0024】

前記キャッピング層の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0025】

前記ストレッチャブル光電子素子は、約5%以上の変形率を有することができる。

【0026】

前記ストレッチャブル光電子素子は、フォールドダブル素子（foldable device）でもある。

30

【0027】

本発明の他の側面によれば、前記ストレッチャブル光電子素子（stretchable optoelectronic device）を含む装置が提供される。

【0028】

本発明の他の側面によれば、弾性ポリマーを含む第1物質層；前記第1物質層に対向し、弾性ポリマーを含む第2物質層；前記第1物質層及び第2物質層の間に具備され、量子ドットを有する発光層を含み、前記発光層の発光面が伸びたり折り曲がったりするように構成された発光素子部；を具備する発光素子が提供される。

【0029】

前記発光素子部は、グラフェン層をさらに含んでもよい。

40

【0030】

前記グラフェン層は、前記第1物質層と前記発光層との間に配置されるか、前記第2物質層と前記発光層との間に配置されてもよい。

【0031】

前記第1物質層と前記発光素子部の間、または前記第2物質層と前記発光素子部との間に、プラスチック層がさらに具備されてもよい。

【0032】

前記グラフェン層は、前記プラスチック層と前記量子ドット含有層との間に配置されてもよい。

【0033】

50

前記プラスチック層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0034】

前記発光素子部は、前記第1物質層側または第2物質層側から順に具備された、第1電極、正孔輸送層、前記発光層、電子輸送層及び第2電極を含み、前記第1電極は、グラフェンを含んでもよい。

【0035】

前記発光素子部は、波状構造を有することができる。

【0036】

前記第1物質層の弾性ポリマー及び前記第2物質層の弾性ポリマーのうち少なくとも一つは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

10

【0037】

本発明の他の側面によれば、前記発光素子（ストレッチャブル／フォールダブル発光素子）を含む装置が提供される。

【0038】

本発明の他の側面によれば、第1基板上にプラスチック層を形成する段階と、前記プラスチック層上に、グラフェン層及び量子ドット含有層を含む光電子素子部を形成する段階と、前記第1基板から、前記プラスチック層と光電子素子部とを含む積層構造物を分離する段階と、弾性ポリマーを含む第2基板を水平方向に引っ張った状態で、前記第2基板上に、前記積層構造物を付着させる段階と、前記第2基板に対する引っ張りを解除し、前記光電子素子部に波状構造を形成する段階と、を含むストレッチャブル光電子素子の製造方法が提供される。

20

【0039】

前記製造方法は、前記光電子素子部上に弾性ポリマーを含むキャッピング層を形成する段階をさらに含んでもよい。

【0040】

前記プラスチック層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含んでもよい。

30

【0041】

前記光電子素子部を形成する段階は、前記プラスチック層上に、第1電極、正孔輸送層、発光層、電子輸送層及び第2電極を順に形成する段階を含んでもよい。前記第1電極は、前記グラフェン層を含み、前記発光層は、前記量子ドット含有層を含んでもよい。

【0042】

前記第2基板上に、前記積層構造物を付着させる段階において、前記プラスチック層が、前記第2基板と前記光電子素子部との間に配置されてもよい。

【0043】

前記第2基板上に、前記積層構造物を付着させる段階において、前記光電子素子部が、前記第2基板と前記プラスチック層との間に配置されてもよい。

40

【0044】

前記第2基板と前記光電子素子部との間に接着層がさらに具備されてもよい。

【0045】

前記第2基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0046】

50

前記キャッピング層の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0047】

前記第1基板は、剛性（rigid）基板上に具備されたポリマー基板を含み、前記剛性基板は、前記ポリマー基板よりも高い剛性を有することができる。

【0048】

本発明の他の側面によれば、弾性ポリマーを含む基板を水平方向に引っ張る段階と、前記引っ張られた基板上に、グラフェン層及び量子ドット含有層を含む光電子素子部を形成する段階と、前記基板に対する引っ張りを解除し、前記光電子素子部に波状構造を形成する段階と、を含むストレッチャブル光電子素子の製造方法が提供される。

10

【0049】

前記光電子素子部を形成する段階において、前記グラフェン層は、前記基板に接触してもよい。

【0050】

前記光電子素子部を形成する段階は、前記基板上に、第1電極、正孔輸送層、発光層、電子輸送層及び第2電極を順に形成する段階を含んでもよい。前記第1電極は、前記グラフェン層を含み、前記発光層は、前記量子ドット含有層を含んでもよい。

20

【0051】

前記光電子素子部は、他の基板上に形成された後、前記引っ張られた基板上に付着され、前記引っ張られた基板と前記グラフェン層との間に、前記量子ドット含有層が配置されてもよい。

【0052】

前記光電子素子部上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層を形成する段階をさらに含んでもよい。

【0053】

前記基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

30

【0054】

前記キャッピング層の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。選択的に、前記シリコンベース・ポリマーは、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0055】

本発明の他の側面によれば、弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有する基板；及び前記基板上に具備された光電子素子部；を含み、前記光電子素子部は、グラフェン層及びアクティブ層を含み、前記アクティブ層は、前記グラフェン層上に、または前記グラフェン層と前記基板との間に具備され、前記アクティブ層は、量子ドット、発光ナノ物質（light-emitting nanomaterials）及びTMDC（遷移金属ダイカルコゲナイド（transition metal dichalcogenide））のうち少なくとも一つを含み、前記光電子素子部は、引っ張り応力が印加されていない状態で波状構造を有し、前記光電子素子部は、引っ張り応力が印加された程度によって、前記波状構造から平面形構造（planar structure）に変形されるように構成されたストレッチャブル光電子素子が提供される。

40

【0056】

50

前記基板の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン（PU）、ポリウレタンアクリレート（PUA）、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0057】

前記光電子素子部上にキャッピング層がさらに具備され、前記光電子素子部は、前記基板と前記キャッピング層との間に具備され、前記キャッピング層は、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン（PU）、ポリウレタンアクリレート（PUA）、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0058】

前記アクティブ層は、量子ドットを含み、前記量子ドットは、単層構造または多層構造を形成することができる。

10

【0059】

前記グラフェン層は、前記光電子素子部の第1電極でもあり、前記光電子素子部は、前記アクティブ層に連結された第2電極をさらに含み、前記光電子素子部は、前記グラフェン層と前記アクティブ層との間に具備された正孔輸送層、及び前記第2電極と前記アクティブ層との間に具備された電子輸送層のうち少なくとも1層をさらに含んでもよい。

【0060】

前記アクティブ層は、前記正孔輸送層及び前記電子輸送層のうち少なくとも1層に直接接触してもよい。

【0061】

20

前記ストレッチャブル光電子素子は、プラスチック物質層をさらに含み、前記プラスチック物質層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含み、前記プラスチック物質層は、前記光電子素子部上に具備されるか、あるいは前記光電子素子部と前記基板との間に具備されてもよい。

【0062】

本発明の他の側面によれば、前記ストレッチャブル光電子素子を含む電子パッチ（electronic patch）；並びに前記電子パッチと、データ及び電力信号を交換するように構成されたモバイル機器素子（mobile equipment device）；を含むセンサシステム（sensorsystem）が提供される。

30

【0063】

本発明の他の側面によれば、前記ストレッチャブル光電子素子を含むセンシングユニット（sensing unit）；前記センシングユニットに連結されたフィルタ回路（filter circuit）；及び前記フィルタ回路に連結された利得増幅回路（gain amplification circuit）；を含むセンサ回路（sensor circuit）が提供される。

【発明の効果】

【0064】

本発明によれば、優秀な特性を有するストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を具現することができる。グラフェン及び／または量子ドット含有層を含むストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を具現することができる。耐久性にすぐれるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を具現することができる。反復的なストレッチング及び／または折り曲げ（folding）動作でも、特性及び効率の低下なしに、正常に駆動することができるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を具現することができる。アクティブ面（例えば、発光面）自体が伸びたり折り曲がったりするストレッチャブル／フォールダブル光電子素子は、多様な分野（ディスプレイ、電子装置、ウェアラブル装置など）のさまざまな用途で適用される。

40

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。

50

- 【図 2】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 3】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 4】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 5】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 6】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 7】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 8】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 9】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 10】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 11】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 12】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 13】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 14】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の断面図である。
- 【図 15】図 14 のストレッチャブル光電子素子を単純化して図示した断面図である。
- 【図 16】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子に使用される量子ドット含有層の構成を例示的に示す断面図である。
- 【図 17 A】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 17 B】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 17 C】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 17 D】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 17 E】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 17 F】本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 18】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法について説明するための断面図である。
- 【図 19 A】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 19 B】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 19 C】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 19 D】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 20】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法について説明するための断面図である。
- 【図 21 A】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 21 B】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 21 C】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。
- 【図 22】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法について説明するための断面図である。
- 【図 23 A】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。

10

20

30

40

50

【図 2 3 B】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。

【図 2 3 C】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。

【図 2 3 D】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法を示す断面図である。

【図 2 4】本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法について説明するための断面図である。

【図 2 5】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子に適用されるグラフェン／PEDOT 積層構造の波状構造を示す平面写真である。

10

【図 2 6】グラフェン／PEDOT 積層構造において、PEDOT 層の厚みによる波状構造の波長変化を示すグラフである。

【図 2 7】グラフェン／PEDOT 積層構造のストレッチングによるモルフォロジー (morphology) 変化を示す平面写真である。

【図 2 8】波状構造を有するグラフェン／PEDOT 積層構造の変形率による面抵抗 (sheet resistance) ($\Omega/\square$) の変化を測定した結果を示すグラフである。

【図 2 9】波状構造を有するポリジメチルシロキサン (PDMS)／グラフェン／PEDOT 積層構造の透過率 (transmittance) を測定した結果を示すグラフである。

【図 3 0】前変形された (prestrained) PDMS 基板の上に、トランスファープリンティング (transferprinting) された量子ドット層 (QD layer) の波状構造を示す平面写真である。

20

【図 3 1】前変形された PDMS 基板の上にトランスファープリンティングされた量子ドット層の厚みによる波状構造の波長変化を示すグラフである。

【図 3 2】弾性基板 (Ecoflex (登録商標) 基板) 上に形成された PEN／グラフェン積層構造のストレッチングによるモルフォロジー変化を示す平面写真である。

【図 3 3】(A) 及び (B) は、それぞれ本発明の一実施形態による光電子素子の単軸波状構造 (uniaxial wavy structure) 及び多軸波状構造 (multiaxial wavy structure) を示す平面写真である。

【図 3 4】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子 (発光素子) が駆動される様子を示す写真である。

30

【図 3 5】図 3 4 の光電子素子 (発光素子) を曲げて (bending) 折り曲げた (folding) 場合を示す写真である。

【図 3 6】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子 (発光素子) をストレッチングした場合を示す写真である。

【図 3 7】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子 (発光素子) の EL (electroluminescence) スペクトルを示すグラフである。

【図 3 8】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子 (発光素子) の電圧－電流密度特性を示すグラフである。

【図 3 9】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子 (発光素子) の電圧－輝度 (brightness) 特性を示すグラフである。

40

【図 4 0】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子 (発光素子) の電流密度－発光効率特性を示すグラフである。

【図 4 1】PEN 層のようなプラスチック物質層を使用せずに前変形された PDMS 基板の上に直接形成した光電子素子 (発光素子) を示す写真である。

【図 4 2】図 4 1 の光電子素子 (発光素子) の電圧－電流密度特性を示すグラフである。

【図 4 3】図 4 1 の光電子素子 (発光素子) の電圧－輝度特性を示すグラフである。

【図 4 4】前変形された PDMS 基板の上にプラスチック物質層 (PEN 層) を使用して製造した光電子素子 (発光素子) を示す写真である。

【図 4 5】図 4 4 の光電子素子 (発光素子) をストレッチングした場合を示す写真である。

50

【図４６】図４４の光電子素子（発光素子）を曲げた場合を示す写真である。

【図４７】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の電圧－電流密度特性を示すグラフである。

【図４８】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の電圧－輝度特性を示すグラフである。

【図４９】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の電流密度－発光効率特性を示すグラフである。

【図５０】比較例による発光素子の電流密度－発光効率特性を示すグラフである。

【図５１】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）を適用したPPG（photoplethysmography）センサを利用して被検体（人）の心臓拍動数を測定した結果を示すグラフである。

10

【図５２】本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）を適用したPPGセンサを利用して測定されたPPG信号パルス（signal pulses）のうち１周期に対応するパルスを示すグラフである。

【図５３】比較例による発光素子を適用したPPGセンサを利用して測定されたPPG信号パルス（signal pulses）のうち１周期に対応するパルスを示すグラフである。

【図５４】本発明の一実施形態によるセンサシステムを示すシステム図面である。

【図５５】本発明の一実施形態によるセンサシステムの回路図である。

【発明を実施するための形態】

【００６６】

20

以下、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（stretchable and/or foldable optoelectronic device）及びその製造方法、並びに前記光電子素子を含む装置について、添付された図面を参照して詳細に説明する。添付された図面に図示された層や領域の幅及び厚みは、明細書の明確性のためにやや誇張されて図示されている。詳細な説明全体にわたって、同一参照番号は、同一構成要素を示す。

【００６７】

図１は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子（stretchable optoelectronic device）１００を示す断面図である。ストレッチャブル光電子素子１００は、フォールダブル光電子素子（foldable optoelectronic device）でもある。以下では、ストレッチャブル光電子素子１００を「ストレッチャブル素子」とする。

30

【００６８】

図１を参照すれば、ストレッチャブル素子１００は、弾性を有する基板Ｓ１０を具備することができる。基板Ｓ１０は、弾性ポリマー（elastomeric polymer）を含み、伸びる特性を有することができる。前記弾性ポリマーは、弾性ゴム（elastomeric rubber）でもある。ストレッチャブル素子１００は、基板Ｓ１０上に具備された光電子素子部Ｄ１０を含んでもよい。光電子素子部Ｄ１０は、発光素子部（light emitting device portion）、光発電素子部（photovoltaic device portion）及び光検出素子部（photo-detecting device portion）のうちいずれか一つでもある。光電子素子部Ｄ１０は、グラフェン層と量子ドット含有層（QD（quantum dot）-containing layer）を含む多層構造を有することができる。また、光電子素子部Ｄ１０は、波状構造（wavy structure）を有することができる。波状構造は、バックル構造（buckled structure）またはしわより構造（corrugated structure）とすることもできる。

40

【００６９】

光電子素子部Ｄ１０が発光素子部である場合、量子ドット含有層（例えば、量子ドット層）は、「発光層（アクティブ層）」として使用される。または、発光層（例えば、図５のLE11）は、TMD C（transition metal dichalcogenide）によって形成された自発光（self-emissive）物質を含んでもよい。量子ドット（QD）は、高い色純度と高い量子収率（quantum yield）、高安定性及び自体発光特性を有し、ドットサイズの調節による色調節が容易であり、溶液工程（solution process）が可能であるという長所がある

50

。従って、量子ドットは、次世代大面積／高画質ディスプレイ分野に応用される可能性がある。ところで、量子ドット層または量子ドット含有層自体は、弾性ゴムのように伸びる特性を有し難いために、それを含んだストレッチャブル素子を具現することは容易ではない。しかし、本発明の一実施形態によれば、弾性を有する基板S10上に、量子ドット含有層を含む光電子素子部D10を具備させ、光電子素子部D10に波状構造を形成することにより、量子ドット含有層を含むストレッチャブル素子100を具現することができる。量子ドット含有層の表面は、「発光面」であり、発光面は、波状構造を有することができるので、本実施形態のストレッチャブル素子100は、発光面自体が伸びたり折り曲がったりする素子でもある。

【0070】

一方、光電子素子部D10のグラフェン層は、電極として使用される。例えば、グラフェン層は、正極として使用される。グラフェンは、優秀な透光性を有し、酸素や水分(moisture)の浸透を防止する役割を行うことができるため、光の進行を遮断せず、酸素や水分から光電子素子部D10を保護する役割を担うことが可能である。また、グラフェンは、非常に薄く、優秀な柔軟性及び高強度を有することができる。従って、グラフェンは、波状構造において、伸びたり折れ曲がったりする特性を有することができる。特に、反復的なストレッチング(stretching)や、極度に小さい曲げ半径(bending radius)(約150nm以下の曲げ半径)でも、グラフェンは、破損なしに固有特性を維持することができる。また、グラフェンは、比較的高い仕事関数を有し、優秀な電気伝導性(すなわち、低い電気抵抗)を有するため、電極(正極)としての使用に適する。光電子素子部D10がグラフェン及び量子ドットを含む場合、ストレッチャブル素子100は、グラフェン—量子ドット(graphene-quantum dot)基盤の素子、またはハイブリッドグラフェン—量子ドット基盤の素子といえる。

【0071】

基板S10の弾性ポリマーは、0.4以上または0.45以上のポアソン比(Poisson's ratio)を有する物質でもある。例えば、基板S10の弾性ポリマーは、0.4~0.5及び／または0.45~0.5の範囲のポアソン比を有するが、それに限定されるものではない。ポアソン比は、材料に垂直応力を加えたときの、横変形率と縦変形率との比を意味する。ポリマーのポアソン比が0.4以上であるということは、ポリマーが良好に伸びるゴム(すなわち、弾性ゴム)のような特性を有するということを意味する。本実施形態において、基板S10の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。ここで、ポリジメチルシロキサンは、「PDMS」、ポリウレタンは、「PU」、ポリウレタンアクリレートは、「PUA」とも表示される。また、シリコンベース・ポリマーとしては、Smooth-On社のEcoflex(登録商標)が使用される。これらの物質は、0.4以上のポアソン比を有することができる。例えば、ポリジメチルシロキサン(PDMS)のポアソン比は、0.48であり、ポリウレタン(PU)のポアソン比は、0.5でもある。ここで提示した基板S10の具体的な物質は、例示的なものであり、それ以外に他の弾性ポリマーが使用されてもよい。

【0072】

基板S10は、弾性ポリマーによって伸びる特性を有し、その一面に形成された光電子素子部D10は、波状構造によって伸びる特性を有することができるので、ストレッチャブル素子100は、伸びる(引っ張り可能な)特性を有することができる。また、ストレッチャブル素子100は、フォールダブル素子でもある。

【0073】

本発明の他の実施形態によれば、図1の光電子素子部D10上に、弾性を有するキャッピング層をさらに具備させることができる。その一例が図2に図示されている。

【0074】

図2を参照すれば、ストレッチャブル素子100-1は、光電子素子部D10上に弾性を有するキャッピング層C10をさらに含んでもよい。基板S10とキャッピング層C10との間に、光電子素子部D10が具備されているといえる。キャッピング層C10は、「封止層(encapsulation layer)」といえる。キャッピング層C10は、基板S10と類似しているか、あるいは同一の物質で構成されてもよい。すなわち、キャッピング層C10は、弾性ポリマー(弾性ゴム)を含み、伸びる特性を有することができる。キャッピング層C10の弾性ポリマーは、基板S10の弾性ポリマーと同一であっても異なってもよい。具体的な例として、キャッピング層C10の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。ここで、ポリウレタンは「PU」、ポリウレタンアクリレートは「PUA」、ポリジメチルシロキサンは「PDMS」とも表示される。また、シリコンベース・ポリマーとしては、Smooth-On社のEcoflex(登録商標)が使用される。しかし、ここで提示したキャッピング層C10の具体的な物質は、例示的なものであり、それ以外に他の弾性ポリマーも使用される。

10

【0075】

図2の実施形態のように、光電子素子部D10が弾性を有する基板S10と、弾性を有するキャッピング層C10との間に配置される場合、光電子素子部D10は、力学的中立面(MNP:mechanical neutral plane)あるいはその近傍に位置することができる。力学的中立面(MNP)とは、素子100-1に機械的変形が発生しても、応力(stress)が発生しない領域(面)を意味する。光電子素子部D10が力学的中立面(MNP)に位置するということは、素子100-1が変形されても、光電子素子部D10が受ける引っ張り力(tensile strain)と応力とがでないか、あるいはほぼないということを意味する。従って、光電子素子部D10を、力学的中立面(MNP)またはその近傍に位置させることにより、素子100-1の変形(引っ張り変形など)による光電子素子部D10の損傷または特性低下などを防止(または、最小化)することができる。

20

【0076】

力学的中立面(MNP)の位置は、基板S10の物質及び厚み、キャッピング層C10の物質及び厚み、並びに光電子素子部D10の積層構造及び構成物質などによって異なる。言い換えれば、基板S10の物質及び厚みや、キャッピング層C10の物質及び厚みなどを調節することにより、力学的中立面(MNP)の位置を適切に制御することができる。また、基板S10と光電子素子部D10との間にさらなる物質層が具備されるか、光電子素子部D10とキャッピング層C10との間にさらなる物質層が具備された場合にも、力学的中立面(MNP)の位置が変わる場合がある。本実施形態では、力学的中立面(MNP)を光電子素子部D10のアクティブ層(例えば、発光層)に位置させる。アクティブ層(例えば、発光層)は「量子ドット含有層」でもある。それを介して、素子100-1の変形によるアクティブ層(例えば、発光層)の損傷または特性低下を防止(または、最小化)することができる。

30

【0077】

さらに、図2のキャッピング層C10は、水分(moisture)及び酸素から光電子素子部D10を保護する保護層の役割を担うことが可能である。また、キャッピング層C10は、透明層でもある。

40

【0078】

本発明の他の実施形態によれば、光電子素子部D10の一面に「プラスチック物質層」がさらに具備されてもよい。プラスチック物質層は、光電子素子部D10の下面または上面に具備されてもよい。プラスチック物質層を具備した例が、図3及び図4に図示されている。

【0079】

図3を参照すれば、ストレッチャブル素子100-2は、基板S10と光電子素子部D

50

10 aとの間に、プラスチック物質層P10をさらに含んでもよい。その場合、プラスチック物質層P10は、光電子素子部D10aの下面に具備されているといえる。光電子素子部D10a上にキャッピング層C10が具備された場合、光電子素子部D10aは、プラスチック物質層P10とキャッピング層C10との間に具備されているといえる。光電子素子部D10aは、図1及び図2を参照して説明した光電子素子部D10と同一であるか、あるいは類似している構成を有することができる。

【0080】

プラスチック物質層P10は、基板S10及びキャッピング層C10の弾性ポリマーより小さいポアソン比を有することができる。例えば、プラスチック物質層P10のポアソン比は、0.45未満または0.4未満でもある。例えば、プラスチック物質層P10のポアソン比は、0.33~0.45または0.35~0.4範囲の値でもあるが、それに限定されるものではない。他の場合として、プラスチック物質層P10のポアソン比は、0.33未満または0.3未満でもある。また、プラスチック物質層P10のヤング率（Young's modulus）は、基板S10及びキャッピング層C10の弾性ポリマーのヤング率よりも高いことがある。具体的な例として、プラスチック物質層P10は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含んでもよい。プラスチック物質層P10の厚みは、例えば、0.5μm~100μmほど、または0.5μm~30μmほどでもある。プラスチック物質層P10の厚みによって、光電子素子部D10aの波状構造の波長（平均波長）及び振幅（平均振幅）が異なる。プラスチック物質層P10の厚みが薄いほど、波状構造の波長（平均波長）が短くなり、振幅（平均振幅）が低減される。従って、プラスチック物質層P10の厚みが薄いほど、光電子素子部D10aの変形率（引っ張り変形率）が上昇する。

【0081】

プラスチック物質層P10は、ストレッチャブル素子100-2の製造過程で要求される層でもある。また、前述のように、プラスチック物質層P10を使用することにより、光電子素子部D10aの変形率、すなわち、ストレッチャブル素子100-2の変形率を調節することができる。

【0082】

本発明の他の実施形態によれば、図4に図示されているように、光電子素子部D10bの上面に、プラスチック物質層P10が具備されてもよい。その場合、基板S10とプラスチック物質層P10との間に、光電子素子部D10bが具備されているといえる。プラスチック物質層P10上に、キャッピング層C10が具備されてもよい。従って、プラスチック物質層P10は、光電子素子部D10bとキャッピング層C10との間に具備されてもよい。参照番号100-3は、「ストレッチャブル素子（ストレッチャブル光電子素子）」を示す。

【0083】

図4の光電子素子部D10bは、図3の光電子素子部D10aを上下に転倒させた構造（すなわち、逆構造）を有することができる。例えば、図3の光電子素子部D10aにおいて、量子ドット含有層がグラフェン層の上側に配置されているならば、図4の光電子素子部D10bにおいては、量子ドット含有層がグラフェン層の下側に配置されてもよい。

【0084】

図4に図示されていないが、基板S10と光電子素子部D10bとの間に、所定の接着層がさらに具備されてもよい。接着層は、有機接着層でもある。接着層は、キャッピング層C10と同一であるか、あるいは類似している物質で構成されてもよい。具体的な例として、接着層は、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

【0085】

図3及び図4の実施形態において、光電子素子部D10a, D10bは、基板S10とキャッピング層C10との間に配置されるので、光電子素子部D10a, D10bは、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。光電子素子部D10a, D10bの量子ドット含有層が、力学的中立面あるいはその近傍に位置することができる。力学的中立面は、図2を参照して説明したものと同一である。

【0086】

図1ないし図4の光電子素子部D10, D10a, D10bの波状構造は、比較的均一な波形(waveform)を有することができる。波状構造は、所定の波長及び振幅を有するといえる。光電子素子部D10, D10a, D10bの波状構造の平均波長は、3 μ m~3mmほど、または10 μ m~2mmほどでもあり、平均振幅は、50nm~2mmほど、または100nm~1mmほどでもある。平均波長及び平均振幅は、光電子素子部D10, D10a, D10bを引っ張っていない状態、すなわち、非引っ張り状態(unstretched state)で測定された値である。平均波長が短いほど、光電子素子部D10, D10a, D10bの変形率(引っ張り変形率)が上昇する。図3及び図4の実施形態では、プラスチック物質層P10の厚みによって、波状構造の波長(平均波長)及び振幅(平均振幅)が調節される。

【0087】

図1ないし図4のストレッチャブル素子100, 100-1, 100-2, 100-3は、約5%以上あるいは約10%以上の変形率(引っ張り変形率)を有することができる。ストレッチャブル素子100, 100-1, 100-2, 100-3の変形率(引っ張り変形率)は、約50%以上あるいは約100%以上でもある。光電子素子部D10, D10a, D10bの波状構造が平面的構造になるまで、素子100, 100-1, 100-2, 100-3が伸びても、光電子素子部D10, D10a, D10bの電氣的、光学的な特性は安定的に維持される。すなわち、波状構造が伸びても、平面的構造になるまでは、クラックが発生したり、あるいは微細構造が変化したりすることがないために、その電氣的、光学的な特性が変化せずに維持される。また、ストレッチャブル素子100, 100-1, 100-2, 100-3は、曲げ半径がおよそ1mm以下になるように曲がる。ストレッチャブル素子100, 100-1, 100-2, 100-3の曲げ半径は、約0.5mm以下、または約0.1mm以下でもある。従って、ストレッチャブル素子100, 100-1, 100-2, 100-3は、フォールダブル素子でもある。特に、図2ないし図4の実施形態のように、光電子素子部D10, D10a, D10bが弾性を有する基板S10と、弾性を有するキャッピング層C10との間に埋め込まれている場合、素子100-1, 100-2, 100-3が物理的に変形されても、光電子素子部D10, D10a, D10bの損傷や特性劣化が発生しない。従って、本発明の一実施形態によれば、優秀な特性及び安定性を有するストレッチャブル/フォールダブル光学装置(電子装置)を具現することができる。

【0088】

図1ないし図4では、光電子素子部D10, D10a, D10bの構成を単純に図示して説明したが、以下では、図5ないし図12を参照し、光電子素子部D10, D10a, D10bが有することができる具体的な構成、及びそれを含むストレッチャブル/フォールダブル光電子素子について詳細に説明する。

【0089】

図5は、本発明の具体的な実施形態によるストレッチャブル光電子素子100Aを示す断面図である。ストレッチャブル光電子素子100Aは、フォールダブル光電子素子でもある。以下では、ストレッチャブル光電子素子100Aを「ストレッチャブル素子」とする。

【0090】

図5を参照すれば、ストレッチャブル素子100Aは、弾性を有する基板S11、及び基板S11上に具備された光電子素子部D11を含んでもよい。光電子素子部D11は、グラフェン層及び量子ドット含有層を含み、波状構造を有することができる。光電子素子

部D 1 1は、波状構造によって伸びる特性を有することができる。ストレッチャブル素子1 0 0 Aは、基板S 1 1と光電子素子部D 1 1との間に、プラスチック物質層P 1 1をさらに含んでもよい。基板S 1 1、プラスチック物質層P 1 1及び光電子素子部D 1 1は、それぞれ図3の基板S 1 0、プラスチック物質層P 1 0及び光電子素子部D 1 0 aに対応する。

【0 0 9 1】

光電子素子部D 1 1は、発光素子部、光発電素子部及び光検出素子部のうちいずれか一つでもある。ここでは、光電子素子部D 1 1が発光素子部である場合が図示されている。その場合、光電子素子部D 1 1は、基板S 1 1側から順に具備された、第1電極E 1 1、発光層L E 1 1及び第2電極E 2 1を含んでもよい。第1電極E 1 1及び第2電極E 2 1のうち一つは、正極(anode)であり、他の一つは、負極(cathode)でもある。例えば、第1電極E 1 1は、正極でもあり、第2電極E 2 1は、負極でもある。第1電極E 1 1及び第2電極E 2 1のうち正極、例えば、第1電極E 1 1は、グラフェン層でもある。参照符号G Pは、「グラフェン」を示す。グラフェン層は、1つのグラフェンで構成された単層グラフェン(single layer graphene)であるか、複数のグラフェン(約1 0 0層以内、あるいは約1 0層以内の複数のグラフェン)が重なった(積層された)構造を有することができる。第1電極E 1 1及び第2電極E 2 1の間に配置される発光層L E 1 1は、量子ドット含有層を含んでもよい。参照符号Q Dは、「量子ドット」を示す。例えば、発光層L E 1 1は、量子ドット層(Q D layer)でもある。または、発光層L E 1 1は、TMD Cによって形成された自発光(self-emissive)物質を含んでもよい。光電子素子部D 1 1は、第1電極E 1 1と発光層L E 1 1との間に具備された正孔輸送層H T L 1 1、及び第2電極E 2 1と発光層L E 1 1との間に具備された電子輸送層E T L 1 1をさらに含んでもよい。また、光電子素子部D 1 1は、第1電極E 1 1と正孔輸送層H T L 1 1との間に具備された正孔注入層H I L 1 1をさらに含んでもよい。図示されていないが、光電子素子部D 1 1は、第2電極E 2 1と電子輸送層E T L 1 1との間に具備された電子注入層をさらに含んでもよい。

【0 0 9 2】

第1電極E 1 1は、グラフェン層でもあり、比較的大きい仕事関数を有することができる。第1電極E 1 1のグラフェン層は、非ドーピング層(undoped layer)でもあるが、場合によっては、p型ドーパントでドーピングされた層でもある。すなわち、必要によって、第1電極E 1 1のグラフェン層は、pドーピングされる。このようなpドーピングによって、グラフェン層の仕事関数は増大し、電気抵抗は低下する。p型ドーパントのソースとしては、例えば、AuCl₃またはHNO₃などを使用することができる。

【0 0 9 3】

第2電極E 2 1は、比較的小さい仕事関数を有することができる。例えば、第2電極E 2 1の仕事関数は、3.4~4.2 eVほどでもある。第2電極E 2 1は、金属や金属化合物を含んでもよい。また、第2電極E 2 1は、単層構造または多層構造を有することができる。具体的な例として、第2電極E 2 1は、Al-Li合金、Al、LiF/Al、Ag、Ca、Ca/Al、Ca/Agなどから構成される。ここで、LiF/Alは、LiF層と、その上に形成されたAl層とを含む多層構造を意味する。このような意味は、Ca/Al、Ca/Agについても同様である。第2電極E 2 1は、n型ドーパントでドーピングされたグラフェンによって形成される。n型ドーパントによって、グラフェンの仕事関数が低くなるので、nドーピングされたグラフェン層を、第2電極E 2 1として使用することができる。また、第2電極E 2 1は、金属ナノワイヤ、CNT(carbon nanotube)またはグラフェンフレーク(graphene flake)などを含んでもよい。具体的な例として、第2電極E 2 1は、複数の金属ナノワイヤ、複数のCNT、または複数のグラフェンフレークがネットワークされた構造を有することができる。このようなネットワーク構造は、所定のポリマー物質層内に埋め込まれている。金属ナノワイヤの一例として、Agナノワイヤが使用される。金属ナノワイヤやCNTは、透明な特性を有することができる。従って、第2電極E 2 1は、透明であり、それは、透明な素子(発光素子)製造のため

に適用される。しかし、前述の第2電極E21の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に多様な物質が使用される。

【0094】

電子輸送層ETL11は、n型有機半導体及び／またはn型無機半導体を含んでもよい。ここで、n型無機半導体は、酸化物または非酸化物でもあり、n型有機半導体は、単量体(monomer)または重合体(polymer)でもある。例えば、n型無機半導体は、 TiO_x 、 ZnO_x 、 ZrO_x のようなn型酸化物半導体であるか、 $n-GaN$ のようなn型非酸化物半導体であるか、 MoS_2 、 $MoSe_2$ 、 $MoTe_2$ 、 WSe_2 、 WTe_2 のようなn型TMDC物質でもある。n型無機半導体(TiO_x など)は、所定のポリマーと混合し、電子輸送層ETL11を構成することができる。一方、n型有機半導体は、 Alq_3 、TAZ、TPBi、BPhenのような単量体系の有機物を含むか、P3CN4HTのような重合体系の有機物を含んでもよい。 Alq_3 、TAZ、TPBi、BPhen、P3CN4HTの化学名は次の通りである。

【0095】

Alq_3 : tris-(8-hydroxyquinilone)aluminum

TAZ: 3-(4-biphenyl)-4-phenyl-5-(4-tert-butylphenyl)-1, 2, 4-triazole

TPBi: 2, 2, 2-(1, 3, 5-benzinetriyl)-tris(1-phenyl-1-H-benzimidazole)

BPhen: 4, 7-diphenyl-1, 10-phenanthroline

P3CN4HT: poly(3-cyano-4-hexylthiophene)

しかし、上記で提示した電子輸送層ETL11の具体的な物質は例示的なものであり、それら以外に多様な物質が電子輸送層ETL11物質として使用される。電子輸送層ETL11は、ゾルゲル(sol-gel)法、スプレーコーティング(spray coating)法、スピニング(spin coating)法、ブレードコーティング(blade coating)法、プリンティング(printing)法、蒸着(deposition)法などによって形成される。

【0096】

正孔輸送層HTL11は、p型有機半導体及び／またはp型無機半導体を含んでもよい。ここで、p型無機半導体は、酸化物または非酸化物でもあり、p型有機半導体は、単量体または重合体でもある。例えば、p型無機半導体は、 MoO_x 、 NiO_x 、 V_xO_y 、 Rh_xO_y のようなp型酸化物半導体であるか、 $p-GaN$ のようなp型非酸化物半導体であるか、 WS_2 、 ZrS_2 、 $ZrSe_2$ 、 HfS_2 、 $HfSe_2$ 、 $NbSe_2$ のようなp型TMDC物質でもある。p型無機半導体は、所定のポリマーと混合し、正孔輸送層HTL11を構成することができる。一方、p型有機半導体は、NPD、TPDのような単量体系の有機物を含んでもよく、TFB、PFB、F8T2のような重合体系の有機物を含んでもよい。NPD、TPD、TFB、PFB、F8T2の化学名は、次の通りである。

【0097】

NPD: N, N'-diphenyl-N, N'-bis(1-naphthyl)-1, 1'-biphenyl-4, 4diamine

TPD: N, N'-bis(3-methylphenyl)-N, N'-diphenylbenzidine

TFB: poly(9, 9-dioctylfluorene-co-N-(4-butylphenyl)diphenylamine)

PFB: poly(9, 9-dioctylfluorene-co-bis-N, N-phenyl-1, 4-phenylenediamine)

F8T2: poly(9, 9-dioctylfluorene-co-bithiophene)

【0098】

しかし、上記で提示した正孔輸送層HTL11の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に多様な物質が正孔輸送層HTL11物質として使用される。そして、電子輸送層ETL11と類似して、正孔輸送層HTL11は、ゾルゲル法、スプレーコーティング法、スピニング法、ブレードコーティング法、プリンティング法、蒸着法などによって形成される。

【0099】

正孔注入層HIL11は、例えば、PEDOTまたはPVKなどを含んでもよい。PEDOTの化学名は、poly(3, 4-ethylenedioxythiophene)であり、PVKの化学名は、poly(N-vinylcarbazole)である。PEDOTの場合、優秀な透光性を有し、第1電極E11

10

20

30

40

50

のグラフェン層と接触したとき、グラフェン層の電気伝導度を高める役割を担うことが可能である。正孔注入層H I L 1 1の電気伝導度が高い場合、正孔注入層H I L 1 1を、電極（正極）の一部とすることもできる。ここで提示した正孔注入層H I L 1 1の具体的な物質は、例示的なものであり、それ以外に多様な物質が正孔注入層H I L 1 1物質として使用される。また、正孔注入層H I L 1 1は、具備しないこともある。その場合、正孔輸送層H T L 1 1が、正孔注入層H I L 1 1の役割を兼ねることができる。

【0100】

図5の光電子素子部D 1 1上に、弾性を有するキャッピング層をさらに具備することができる。その一例が図6に図示されている。

【0101】

図6を参照すれば、ストレッチャブル素子100Bは、光電子素子部D 1 1上に具備されたキャッピング層C 1 1をさらに含んでもよい。キャッピング層C 1 1は、図2ないし図4を参照して説明したキャッピング層C 1 0と同一であるか、あるいは類似している層でもある。キャッピング層C 1 1を具備することにより、ストレッチャブル素子100Bにおいて、光電子素子部D 1 1は、力学的中立面（MNP）あるいはその近傍に位置することができる。例えば、光電子素子部D 1 1の発光層L E 1 1が力学的中立面（MNP）あるいはその近傍に位置することができる。力学的中立面（MNP）は、図2ないし図4を参照して説明したところと同一であるので、それに係わる反復説明は省略する。

【0102】

本発明の他の実施形態によれば、図5及び図6において、光電子素子部D 1 1の構成層の配列順序が上下に逆転されてもよい。すなわち、図5及び図6の光電子素子部D 1 1を上下に逆転させた逆構造を、基板S 1 1上に適用することができる。その場合、プラスチック物質層P 1 1の位置も異なることになる。このような変形例は、図7及び図8を参照して説明する。

【0103】

図7は、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子（以下、ストレッチャブル素子）100Cを示す断面図である。

【0104】

図7を参照すれば、弾性を有する基板S 1 2上に、光電子素子部D 1 2が具備される。光電子素子部D 1 2上に、プラスチック物質層P 1 2が具備される。従って、基板S 1 2とプラスチック物質層P 1 2との間に、光電子素子部D 1 2が具備される。光電子素子部D 1 2は、図5の光電子素子部D 1 1を上下に逆転させた逆構造を有することができる。すなわち、光電子素子部D 1 2は、基板S 1 2側から順に配置された、第2電極E 2 2、電子輸送層E T L 1 2、発光層L E 1 2、正孔輸送層H T L 1 2、正孔注入層H I L 1 2及び第1電極E 1 2を含んでもよい。このとき、第2電極E 2 2を「第1電極」とし、第1電極E 1 2を「第2電極」とすることもできる。第1電極E 1 2は、正極であり、第2電極E 2 2は、負極でもある。第1電極E 1 2は、グラフェン層でもあり、発光層L E 1 2は、量子ドット含有層でもある。プラスチック物質層P 1 2は、第1電極E 1 2に接触するように具備される。第1電極E 1 2がグラフェン層である場合、プラスチック物質層P 1 2は、グラフェン層に接触することができる。

【0105】

本実施形態によるストレッチャブル素子100Cは、基板S 1 2と光電子素子部D 1 2との間に具備された接着層B 1 2をさらに含んでもよい。接着層B 1 2は、有機接着層でもある。接着層B 1 2は、図6のキャッピング層C 1 1と同一であるか、あるいは類似している物質から構成される。具体的な例として、接着層B 1 2は、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。しかし、ここで提示した接着層B 1 2の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に他の物質を使用することもできる。

10

20

30

40

50

【0106】

図7のプラスチック物質層P12上に、弾性を有するキャッピング層をさらに具備させることができる。その一例が図8に図示されている。

【0107】

図8を参照すれば、ストレッチャブル素子100Dは、プラスチック物質層P12上に具備されたキャッピング層C12をさらに含んでもよい。キャッピング層C12は、図2ないし図4を参照して説明したキャッピング層C10と同一であるか、あるいは類似している層でもある。キャッピング層C12を具備することにより、光電子素子部D12は、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。例えば、光電子素子部D12の発光層LE12が、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。

10

【0108】

図5ないし図8の実施形態では、光電子素子部D11、D12の一面に、プラスチック物質層P11、P12を適用した場合について図示して説明したが、場合によっては、プラスチック物質層P11、P12を使用しないこともある。その例が図9ないし図12に図示されている。

【0109】

図9は、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子100Eを示す断面図である。ストレッチャブル光電子素子100Eは、フォールダブル光電子素子でもある。以下では、ストレッチャブル光電子素子100Eを「ストレッチャブル素子」とする。

20

【0110】

図9を参照すれば、弾性を有する基板S13上に、光電子素子部D13が具備される。光電子素子部D13は、図5の光電子素子部D11と同一であるか、あるいは類似している積層構造を有することができる。すなわち、光電子素子部D13は、基板S13側から順に配列される、第1電極E13、正孔注入層HIL13、正孔輸送層HTL13、発光層LE13、電子輸送層ETL13及び第2電極E23を含んでもよい。第1電極E13は、グラフェン層を含んでもよい。その場合、第1電極E13のグラフェン層は、基板S13の上面に接触してもよい。発光層LE13は、量子ドット含有層でもある。例えば、発光層LE13は、量子ドット層でもある。図9の構造は、図5でのプラスチック物質層P11が排除された構造と同一であるか、あるいは類似している。

30

【0111】

図9の光電子素子部D13上に、弾性を有するキャッピング層をさらに具備することができる。その一例が図10に図示されている。

【0112】

図10を参照すれば、ストレッチャブル素子100Fは、光電子素子部D13上に具備されたキャッピング層C13をさらに含んでもよい。キャッピング層C13は、図2ないし図4を参照して説明したキャッピング層C10と同一であるか、あるいは類似している層でもある。光電子素子部D13は、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。例えば、光電子素子部D13の発光層LE13が、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。図10の構造は、図6でのプラスチック物質層P11が排除された構造と同一であるか、あるいは類似している。

40

【0113】

本発明の他の実施形態によれば、図9及び図10において、光電子素子部D13の構成層の配列順序が上下に逆転されてもよい。すなわち、図9及び図10の光電子素子部D13を上下に逆転させた逆構造を、基板S13上に適用することができる。このような変形例は、図11及び図12を参照して説明する。

【0114】

図11は、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子（以下、ストレッチャブル素子）100Gを示す断面図である。

【0115】

50

図11を参照すれば、弾性を有する基板S14上に、光電子素子部D14が具備される。光電子素子部D14は、図9の光電子素子部D13を上下に逆転させた逆構造を有することができる。すなわち、光電子素子部D14は、基板S14側から順に配置された、第2電極E24、電子輸送層ETL14、発光層LE14、正孔輸送層HTL14、正孔注入層HIL14及び第1電極E14を含んでもよい。このとき、第2電極E24を「第1電極」とし、第1電極E14を「第2電極」とすることもできる。第1電極E14は、正極であり、第2電極E24は、負極でもある。第1電極E14は、グラフェン層でもあり、発光層LE14は、量子ドット含有層でもある。

【0116】

ストレッチャブル素子100Gは、基板S14と光電子素子部D14との間に、接着層B14をさらに含んでもよい。接着層B14は、有機接着層でもある。接着層B14は、図7の接着層B12と同一であるか、あるいは類似している物質から構成される。

【0117】

また、ストレッチャブル素子100Gは、光電子素子部D14上に具備されたポリマー層PM14をさらに含んでもよい。従って、接着層B14とポリマー層PM14との間に、光電子素子部D14が具備される。ポリマー層PM14は、弾性ポリマーを含んでもよい。その場合、ポリマー層PM14は、基板S14の弾性ポリマーと同一であるか、あるいは類似している物質から構成される。例えば、ポリマー層PM14の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。また、シリコンベース・ポリマーとして、Smooth-On社のEcoflex（登録商標）が使用される。しかし、ここで提示したポリマー層PM14の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に他のポリマーも使用される。このようなポリマー層PM14は、第1電極E14に接触するように具備される。第1電極E14がグラフェン層である場合、ポリマー層PM14は、グラフェン層に接触することができる。ポリマー層PM14は、比較的薄い厚み、例えば、約100µm以下の厚み、または約50µm以下の厚みを有することができる。

【0118】

図11のポリマー層PM14上に、弾性を有するキャッピング層をさらに具備することができる。その一例が図12に図示されている。

【0119】

図12を参照すれば、ストレッチャブル素子100Hは、ポリマー層PM14上に具備されたキャッピング層C14をさらに含んでもよい。キャッピング層C14は、図2ないし図4を参照して説明したキャッピング層C10と同一であるか、あるいは類似している層でもある。キャッピング層C14を具備することにより、光電子素子部D14は、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。例えば、光電子素子部D14の発光層LE14が力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。

【0120】

図13は、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子（以下、ストレッチャブル素子）100Kを示す断面図である。本実施形態は、図6の素子100Bを変形した場合を示す。

【0121】

図13を参照すれば、弾性を有する基板S15上に、プラスチック物質層P15が具備され、プラスチック物質層P15の一部（例えば、一端部）上に、金属層M15が具備される。プラスチック物質層P15上に、金属層M15の一部と接触した光電子素子部D15が具備される。光電子素子部D15は、基板S15側から順に具備された、第1電極E15、正孔注入層HIL15、正孔輸送層HTL15、発光層LE15、電子輸送層ETL15及び第2電極E25を含んでもよい。第1電極E15は、グラフェン層でもあり、

10

20

30

40

50

発光層 L E 1 5 は、量子ドット含有層でもある。第 1 電極 E 1 5 がグラフェン層である場合、グラフェン層は、金属層 M 1 5 の一部と接触してもよい。金属層 M 1 5 の残り領域は、グラフェン層（すなわち、第 1 電極 E 1 5）でカバーされずに露出される。金属層 M 1 5 の露出された領域は、第 1 コンタクト領域 C R 1 でもある。

【0 1 2 2】

光電子素子部 D 1 5 上に、弾性を有するキャッピング層 C 1 5 が具備される。キャッピング層 C 1 5 の一部が除去（エッチング）されることによって、第 2 電極 E 2 5 の一部が露出される。第 2 電極 E 2 5 の露出された領域は、第 2 コンタクト領域 C R 2 でもある。

【0 1 2 3】

第 1 コンタクト領域 C R 1 及び第 2 コンタクト領域 C R 2 を介して、光電子素子部 D 1 5 に所定の電氣的信号を入力することができる。例えば、第 1 コンタクト領域 C R 1 及び第 2 コンタクト領域 C R 2 を介して、光電子素子部 D 1 5 の第 1 電極 E 1 5 及び第 2 電極 E 2 5 の間に、所定の電圧を印加することができる。

【0 1 2 4】

図 1 3 では、図 6 のストレッチャブル素子 1 0 0 B に、第 1 コンタクト領域 C R 1 及び第 2 コンタクト領域 C R 2 を具備した場合を示す。このような第 1 コンタクト領域 C R 1 及び第 2 コンタクト領域 C R 2 は、図 5、及び図 7 ないし図 1 2 のストレッチャブル素子 1 0 0 A、1 0 0 C ~ 1 0 0 H にも類似して適用される。また、図 1 3 で説明した第 1 コンタクト領域 C R 1 及び第 2 コンタクト領域 C R 2 の構造／形態／位置などは、例示的なものに過ぎず、光電子素子部 D 1 1 ~ D 1 4 に係わる電氣的接続のための構造／手段は多様に变化する。

【0 1 2 5】

本発明の他の実施形態によれば、1 枚の基板上に、複数の素子部を具備することができる。その一例が図 1 4 に図示されている。

【0 1 2 6】

図 1 4 を参照すれば、弾性を有する基板 S 1 0 0 上に、波状構造を有する光電子素子部 D 1 0 0 が具備される。基板 S 1 0 0 と光電子素子部 D 1 0 0 との間には、必要によって、プラスチック物質層 P 1 0 0 が具備される。光電子素子部 D 1 0 0 は、グラフェン層及び量子ドット含有層を含んでもよい。具体的な例として、光電子素子部 D 1 0 0 は、基板 S 1 0 0 側から順に具備された、第 1 電極 E 1 0 0、正孔注入層 H I L 1 0 0、正孔輸送層 H T L 1 0 0、発光層 L E 1 0 0 及び電子輸送層 E T L 1 0 0 を含んでもよい。また、光電子素子部 D 1 0 0 は、電子輸送層 E T L 1 0 0 上に具備された複数の第 2 電極 E 2 0 1、E 2 0 2、E 2 0 3 を含んでもよい。それぞれの第 2 電極 E 2 0 1、E 2 0 2、E 2 0 3 に対応する光電子素子部 D 1 0 0 領域が、1 つの「単位素子部」でもある。従って、光電子素子部 D 1 0 0 は、複数の単位素子部を含むといえる。光電子素子部 D 1 0 0 上に、弾性を有するキャッピング層 C 1 0 0 がさらに具備される。キャッピング層 C 1 0 0 を具備することにより、光電子素子部 D 1 0 0 は、力学的中立面（M N P）あるいはその近傍に位置することができる。

【0 1 2 7】

場合によっては、図 1 4 において、第 1 電極 E 1 0 0 から電子輸送層 E T L 1 0 0 までの積層構造物の少なくとも一部を、第 2 電極 E 2 0 1、E 2 0 2、E 2 0 3 のような形態にパターンニングすることができる。言い換えれば、1 つの基板上に、お互いに離隔された複数の光電子素子部（単位素子部）を具備することができ、前記基板上に、前記複数の光電子素子部を覆うキャッピング層を具備することができる。それ以外にも、図 1 4 の構造は多様に变化される。

【0 1 2 8】

図 1 4 の構造をさらに単純化すれば、図 1 5 のように図示される。

【0 1 2 9】

図 1 5 を参照すれば、弾性を有する基板 S 1 1 0 と、弾性を有するキャッピング層 C 1 1 0 との間に、波状構造を有する光電子素子部 D 1 1 0 が具備される。光電子素子部 D 1

10

20

30

40

50

10の少なくとも一部は、図1ないし図14を参照して説明した光電子素子部D10～D100に対応する。基板S110及びキャッピング層C110は、それぞれ図1ないし図14を参照して説明した基板S10～S100及びキャッピング層C10～C100に対応する。図15に図示されていないが、基板S110と光電子素子部D110との間、及び／または光電子素子部D110とキャッピング層C110との間に、プラスチック物質層、接着層（有機接着層）またはポリマー層などがさらに具備される。

【0130】

図5ないし図15を参照して説明したストレッチャブル素子は、発光面自体が伸びたり折れ曲がったりするストレッチャブル発光素子でもある。発光面は、発光層LE11～LE15、LE100の表面でもある。発光層LE11～LE15、LE100は、量子ドット含有層でもあるので、発光面は、量子ドット含有層の表面でもある。発光面自体が伸びたり折り曲がったりするということは、ストレッチャブル／フォールダブル装置の具現において有用な特性でもある。例えば、発光面を伸ばしたり折り曲げたりしながら、伸びたり折り曲がったりする部分（発光面の一部）の特性が変化しないので、それを利用すれば、多様なウェアラブル（wearable）電子装置、ストレッチャブル／フォールダブル電子装置などを容易に具現することができる。

10

【0131】

図1ないし図15を参照して説明した光電子素子部D10～D110に使用される量子ドット含有層は、例えば、図16に図示されているような構造を有することができる。すなわち、図16は、図1ないし図15の素子に使用される量子ドット含有層の構成を例示的に示す断面図である。

20

【0132】

図16を参照すれば、量子ドット含有層QDL1は、複数の量子ドットQDを含んでもよい。複数の量子ドットQDが単層構造または多層構造をなすことができる。それぞれの量子ドットQDは、コア部c1とシェル部s1とを有し、シェル部s1は、単一シェル（single shell）構造または二重シェル（double shell）構造を有することができる。コア部c1は、CdSe、InP、PbS、PbSe、CdTeなどから構成され、シェル部s1は、CdS、ZnSなどから構成される。このような量子ドットQDは、約10nm以下の径を有することができる。量子ドットQDの表面には、有機リガンド（organic ligand）d1が存在することができる。有機リガンドd1は、例えば、オレイン酸、トリオクチルホスフィン、トリオクチルアミン、トリオクチルホスフィンオキシドなどでもある。量子ドットQDは、コロイダル量子ドット（colloidal quantum dot）でもある。

30

【0133】

本発明の多様な実施形態において、量子ドットQDは、他の適切な物質によって形成されるか、代替されもする。例えば、量子ドットQDは、グラフェン量子ドット（GQDs：graphene quantum dots）、シリコン量子ドット、TMDC（例えば、MoS₂、MoSe₂、MoTe₂、WSe₂、WTe₂、WS₂、ZrS₂、ZrSe₂、HfS₂、HfSe₂、NbSe₂）、及びそれらの組み合わせで構成されたり代替されたりしてよく、発光層を形成するための自発光物質としても使用される。また、量子ドットQDは、それ以外に、他の発光ナノ物質（light-emitting nanomaterials）のうち少なくとも一つによって形成されたり代替されもする。

40

【0134】

以下では、本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子の製造方法について説明する。

【0135】

図17Aないし図17Fは、本発明の一実施形態によるストレッチャブル光電子素子（以下、ストレッチャブル素子）の製造方法を示す断面図である。

【0136】

図17Aを参照すれば、第1基板SUB1を設ける。第1基板SUB1は、例えば、ガラス基板10及びポリマー層20を含んでもよい。ガラス基板10上に、ポリマー層20

50

を形成することができる。ガラス基板10は、一種の剛性基板でもある。剛性基板（すなわち、ガラス基板10）は、ポリマー層20よりも高い剛性を有する基板でもある。ポリマー層20は、ポリマー基板でもある。ポリマー層20は、弾性ポリマーを含んでもよい。その場合、ポリマー層20は、図1で説明した基板S10の弾性ポリマーと同一であるか、あるいは類似している物質から構成される。例えば、ポリマー層20の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。また、シリコンベース・ポリマーとして、Smooth-On社のEcoflex（登録商標）が使用される。しかし、ここで提示したポリマー層20の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に他のポリマーも使用される。

10

【0137】

具体的な例として、ポリマー層20をポリジメチルシロキサン（PDMS）で形成する場合、PDMSの前駆体（すなわち、プレポリマー）と硬化剤（curing agent）との混合物をガラス基板10上にスピンコーティングした後、それを約70℃の温度で硬化し、ポリマー層（PDMS層）20を形成することができる。前記混合物において、前駆体と硬化剤との重量比は10：1ほどでもあり、スピンコーティングは、約6,000rpmの速度で行うことができる。しかし、ここで提示したポリマー層20の具体的な形成方法は、例示的なものであり、それは多様に変化される。

20

【0138】

ポリマー層20の厚みは、比較的薄い。例えば、ポリマー層20の厚みは、約100μm以下、または約50μm以下と薄い。ポリマー層20の厚みが薄い場合、後続する加熱工程によって、ポリマー層20の体積が膨脹したり、あるいはポリマー層20に応力が発生したりするという問題が抑制される。このために、ポリマー層20は、比較的薄い厚みで形成する。一方、ポリマー層20が形成されるガラス基板10は、剛性を有する基板であり、支持基板の役割を担うことが可能である。すなわち、ガラス基板10は、素子の取り扱い性（すなわち、ハンドリング特性）向上のために使用される。ガラス基板10は、剛性を有する他の基板で代替可能である。

【0139】

図17Bを参照すれば、第1基板SUB1上に、プラスチック層30を形成することができる。プラスチック層30は、ポリマー層20上に付着される。プラスチック層30は、図3ないし図5で説明したプラスチック物質層P10、P11と同一であるか、あるいは類似している物質から構成される。プラスチック層30のポアソン比は、0.45未満または0.3未満でもある。また、プラスチック層30は、ポリマー層20より大きいヤング率を有することができる。具体的な例として、プラスチック層30は、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンテレフタレート（PET）のうち少なくとも一つを含んでもよい。このようなプラスチック層30は、ポリマー層20に良好に付着することができる。プラスチック層30の厚みは、例えば、0.5μm～100μmほど、または0.5μm～30μmほどでもある。

30

40

【0140】

図17Cを参照すれば、プラスチック層30上に、光電子素子部40を形成することができる。光電子素子部40は、発光素子部、光発電素子部及び光検出素子部（例えば、発光素子部）のうちいずれか一つでもある。光電子素子部40は、グラフェン層及び量子ドット含有層を含んでもよい。光電子素子部40は、グラフェン層と、TMDCを含む層とを含んでもよい。光電子素子部40が発光素子部である場合、光電子素子部40は、プラスチック層30側から順に具備された、第1電極40a、発光層40d及び第2電極40fを含んでもよい。第1電極40a及び第2電極40fのうち一つは、正極であり、他の一つは、負極でもある。例えば、第1電極40aは、正極でもあり、第2電極40fは、負極でもある。第1電極40a及び第2電極40fのうち正極、例えば、第1電極40a

50

は、グラフェン層でもある。グラフェン層は、1つのグラフェンで構成された単層グラフェンであるか、複数のグラフェン（約100層以内、あるいは約10層以内の複数のグラフェン）が重なった（積層された）構造を有することができる。第1電極40a及び第2電極40fの間に配置される発光層40dは、量子ドット含有層を含んでもよい。例えば、発光層40dは、量子ドット層でもある。光電子素子部40は、第1電極40aと発光層40dとの間に具備された正孔輸送層40c、及び第2電極40fと発光層40dとの間に具備された電子輸送層40eをさらに含んでもよい。また、光電子素子部40は、第1電極40aと正孔輸送層40cとの間に具備された正孔注入層40bをさらに含んでもよい。第1電極40a、正孔注入層40b、正孔輸送層40c、発光層40d、電子輸送層40e及び第2電極40fの物質は、それぞれ図5の第1電極E11、正孔注入層HIL11、正孔輸送層HTL11、発光層LE11、電子輸送層ETL11及び第2電極E21の物質に対応する。図示されていないが、光電子素子部40は、第2電極40fと電子輸送層40eとの間に具備された電子注入層をさらに含んでもよい。

10

【0141】

第1電極40aをグラフェン層で形成する場合、グラフェン層は、プラスチック層30上に転移（transfer）される。グラフェン層は、非ドーピング層でもあるが、場合によっては、p型ドーパントでドーピングされた層でもある。正孔注入層40bは、PEDOTまたはPVKなどで形成することができるが、例えば、PEDOTで形成する場合、PEDOT:DMSO:zonyl（登録商標）の混合溶液を、第1電極40a上に数十nmほどの厚みにコーティングし、それを真空オーブンで約100～250℃ほどの温度で熱処理（アニーリング）し、正孔注入層40bを形成することができる。ここで、DMSOは、ジメチルスルホキシドである。次に、正孔注入層40b上に、正孔輸送層40c、発光層40d及び電子輸送層40eを、湿式工程（wet process）で順に形成することができる。その後、電子輸送層40e上に、第2電極40fを形成することができる。第2電極40fは、Al-Li合金、Al、LiF/Al、Ag、Ca、Ca/Al、Ca/Agのような金属や金属化合物によって形成するか、ドーピングされたグラフェンでも形成可能である。または、第2電極40fは、金属ナノワイヤ、CNT、グラフェンフレークなどで形成することもできる。第2電極40fをAl-Li合金などで形成する場合、例えば、熱蒸発（thermal evaporation）法を使用することができる。

20

【0142】

さらには、図17Cの光電子素子部40の形成段階において、プラスチック層30は、優秀な耐熱性を有することができるので、熱によってプラスチック層30が損傷される問題が防止される。特に、プラスチック層30がPENから形成された場合、優秀な耐熱性を有することができる。

30

【0143】

図17Dを参照すれば、第1基板SUB1から、プラスチック層30と光電子素子部40との積層構造物を分離することができる。プラスチック層30を、ポリマー層20から物理的に引き離すことにより、積層構造物（すなわち、プラスチック層30及び光電子素子部40）を第1基板SUB1から分離することができる。ガラス基板10とポリマー層20との接着力、及びプラスチック層30と光電子素子部40との接着力より、ポリマー層20とプラスチック層30との接着力が弱いために、ポリマー層20からプラスチック層30を容易に分離することができる。第1基板SUB1から、プラスチック層30と光電子素子部40との積層構造物を分離した後には、プラスチック層30が光電子素子部40に対する支持基板またはハンドリング基板の役割を行う。

40

【0144】

図17Eを参照すれば、弾性ポリマーを含む第2基板60を水平方向に引っ張った状態で、第2基板60上に、プラスチック層30と光電子素子部40との積層構造物を付着させることができる。第2基板60の物質は、図1を参照して説明した基板S10の物質と同一であるか、あるいは類似している。すなわち、第2基板60は、弾性ポリマーを含み、伸びる特性を有することができる。前記弾性ポリマーは、弾性ゴム（elastomeric rubber）

50

er)でもある。第2基板60の弾性ポリマーは、0.4以上または0.45以上のポアソン比を有する物質でもある。第2基板60の弾性ポリマーは、シリコンベース・ポリマー、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー及びアクリレートターポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。また、シリコンベース・ポリマーとして、Smooth-On社のEcoflex（登録商標）を使用することができる。しかし、ここで提示した第2基板60の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に他の弾性ポリマーも使用される。このような第2基板60を水平方向に所定長ほど伸ばした状態で、第2基板60上にプラスチック層30と光電子素子部40との積層構造物を付着させることができる。このとき、プラスチック層30は、第2基板60に良好に付着することができる。場合によっては、プラスチック層30と第2基板60との間に、所定の接着剤（接着層）をさらに具備することもできる。

10

【0145】

図17Eの段階において、第2基板60を水平方向に伸ばした程度、すなわち、第2基板60に対する前変形率（prestrain）は、約5%以上、または約10%以上でもある。第2基板60の前変形率は、約50%以上、または約100%以上でもある。このように、前変形された第2基板60上に、光電子素子部40を形成することができる。

【0146】

次に、第2基板60に対する引っ張りを解除すれば、図17Fに図示されているように、光電子素子部40に波状構造が形成される。波状構造を有する光電子素子部40は、第2基板60のように、水平方向に伸び（stretchable）、大きい角度にも折れ曲がる（foldable）。このとき、第2基板60と光電子素子部40との間に、プラスチック層30が位置することができる。光電子素子部40の波状構造は、所定の波長及び振幅を有するといえる。光電子素子部40の波状構造の平均波長は、3 μ m～3mmほど、または10 μ m～2mmほどでもあり、平均振幅は、50nm～2mmほど、または100nm～1mmほどでもある。プラスチック層30の厚みによって、波状構造の波長（平均波長）及び振幅（平均振幅）が調節される。図17Fの素子は、図5の素子100Aに対応する。

20

【0147】

本発明の他の実施形態によれば、図17Eまたは図17Fの光電子素子部40上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層をさらに形成することができる。その結果物が図18に図示されている。

30

【0148】

図18を参照すれば、光電子素子部40上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層70を形成することができる。キャッピング層70は、図17Eの段階、または図17Fの段階で形成することができる。光電子素子部40は、第2基板60とキャッピング層70との間に配置される。その場合、光電子素子部40は、力学的中立面（MNP）あるいはその近傍に位置することができる。光電子素子部40の発光層40dが力学的中立面あるいはその近傍に位置することができる。キャッピング層70は、図2のキャッピング層C10と同一であるか類似した物質から形成することができる。例えば、キャッピング層70の弾性ポリマーは、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。また、シリコンベース・ポリマーとして、Smooth-On社のEcoflex（登録商標）を使用することができる。しかし、ここで提示したキャッピング層70の具体的な物質は例示的なものであり、それ以外に他の弾性ポリマーも使用される。図18の素子は、図6の素子100Bに対応する。

40

【0149】

図19Aないし図19Dは、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子

50

(以下、ストレッチャブル素子)の製造方法を示す断面図である。

【0150】

図19Aを参照すれば、図17Aないし図17Cの方法を利用して、第1基板SUB1上に、プラスチック層30と光電子素子部40とを形成することができる。次に、光電子素子部40上に、接着層50をさらに形成することができる。接着層50は、有機接着層でもある。接着層50は、図18のキャッピング層70と同一であるか、あるいは類似している物質から構成される。具体的な例として、接着層50は、ポリウレタン、ポリウレタンアクリレート、アクリレートポリマー、アクリレートターポリマー及びシリコンベース・ポリマーのうち少なくとも一つを含んでもよい。シリコンベース・ポリマーは、例えば、ポリジメチルシロキサン、ポリフェニルメチルシロキサン及びヘキサメチルジシロキサンのうち少なくとも一つを含んでもよい。

10

【0151】

図19Bを参照すれば、第1基板SUB1から、プラスチック層30、光電子素子部40及び接着層50を含む積層構造物を分離することができる。それは、図17Dの分離工程と類似している。

【0152】

図19Cを参照すれば、弾性ポリマーを含む第2基板60を水平方向に引っ張った状態で、第2基板60上に、プラスチック層30、光電子素子部40及び接着層50の積層構造物を付着させることができる。このとき、接着層50が第2基板60の表面に付着することができる。従って、光電子素子部40は、上下に逆転された状態で、第2基板60上に具備される。光電子素子部40は、第2基板60側から順に具備された、第2電極40f、電子輸送層40e、発光層40d、正孔輸送層40c、正孔注入層40b及び第1電極40aを含んでもよい。ここで、第1電極40aは、正極であり、第2電極40fは、負極でもある。第1電極40aは、グラフェン層でもあり、発光層40dは、量子ドット含有層でもある。

20

【0153】

次に、第2基板60に対する引っ張りを解除すれば、図19Dに図示されているように、光電子素子部40に波状構造が形成される。図19Dの素子は、図7の素子100Cに対応する。

【0154】

本発明の他の実施形態によれば、図19Cまたは図19Dのプラスチック層30上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層をさらに形成することができる。その結果物が図20に図示されている。

30

【0155】

図20を参照すれば、プラスチック層30上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層70を形成することができる。キャッピング層70は、図19Cの段階または図19Dの段階で形成することができる。プラスチック層30は、光電子素子部40とキャッピング層70との間に配置され、光電子素子部40は、第2基板60とキャッピング層70との間に配置される。光電子素子部40は、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。キャッピング層70は、図18のキャッピング層70と同一であるか類似した物質から形成することができる。図20の素子は、図8の素子100Dに対応する。

40

【0156】

本発明の他の実施形態によれば、弾性ポリマーを含む基板を水平方向に引っ張った状態で、前記引っ張られた基板上に、グラフェン層及び量子ドット含有層を含む光電子素子部を形成した後、前記基板に対する引っ張りを解除し、前記光電子素子部に波状構造を形成することができる。その一例が図21Aないし図21Cに図示されている。

【0157】

図21Aないし図21Cは、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子(以下、ストレッチャブル素子)の製造方法を示す断面図である。

50

【0158】

図21Aを参照すれば、弾性ポリマーを含む基板62を、水平方向に引っ張ることができる。基板62を引っ張る方法としては、物理的引っ張り方法及び熱的引っ張り方法がある。物理的引っ張り方法では、基板62の少なくとも両端を引っばって伸ばす。熱的引っ張り方法を使用すれば、基板62が四方に伸びる。物理的引っ張り方法及び熱的引っ張り方法のうち一つを選択的に使用したり、それらを同時に使用したりする。

【0159】

図21Bを参照すれば、引っ張られた基板62上に、光電子素子部42を形成することができる。光電子素子部42は、例えば、基板62側から順に配置された、第1電極42a、正孔注入層42b、正孔輸送層42c、発光層42d、電子輸送層42e及び第2電極42fを含んでもよい。第1電極42aは、グラフェン層を含んでもよい。その場合、第1電極42aのグラフェン層は、基板62の上面に接触してもよい。発光層42dは、量子ドット含有層を含んでもよい。例えば、発光層42dは、量子ドット層でもある。第1電極42a、正孔注入層42b、正孔輸送層42c、発光層42d、電子輸送層42e及び第2電極42fそれぞれの具体的な形成方法は、図17Cを参照して説明した、第1電極40a、正孔注入層40b、正孔輸送層40c、発光層40d、電子輸送層40e及び第2電極40fの形成方法と同一であるか、あるいは類似している。

【0160】

図21Cを参照すれば、基板62に対する引っ張りを解除し、光電子素子部42に波状構造を形成することができる。図21Cの素子は、図9の素子100Eに対応する。

【0161】

本発明の他の実施形態によれば、図21Bまたは図21Cの光電子素子部42上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層をさらに形成することができる。その結果物が図22に図示されている。

【0162】

図22を参照すれば、光電子素子部42上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層72を形成することができる。キャッピング層72は、図21Bの段階または図21Cの段階で形成することができる。光電子素子部42は、第2基板62とキャッピング層72との間に配置される。光電子素子部40は、力学的中立面(MNP)あるいはその近傍に位置することができる。キャッピング層72は、図18のキャッピング層70と同一であるか、あるいは類似している物質から形成することができる。図22の素子は、図10の素子100Fに対応する。

【0163】

図23Aないし図23Dは、本発明の他の実施形態によるストレッチャブル光電子素子(以下、ストレッチャブル素子)の製造方法を示す断面図である。

【0164】

図23Aを参照すれば、図17Aないし図17Cの方法と類似した方法で、ガラス基板15上にポリマー層25を形成し、ポリマー層25上に、光電子素子部45を形成することができる。このとき、ポリマー層25は、例えば、約500 μ m~2mmほどの厚みを有することができる。光電子素子部45は、順に積層された、第1電極45a、正孔注入層45b、正孔輸送層45c、発光層45d、電子輸送層45e及び第2電極45fを含んでもよい。次に、光電子素子部45上に、接着層55を形成することができる。接着層55は、図19Aの接着層50と同一であるか、あるいは類似している。

【0165】

図23Bを参照すれば、ガラス基板15から、ポリマー層25、光電子素子部45及び接着層55を含む積層構造物を分離することができる。ポリマー層25を、ガラス基板15から物理的に分離することにより、積層構造物をガラス基板15から分離することができる。ガラス基板10とポリマー層25との接着力が、ポリマー層25と光電子素子部45との接着力より相対的に弱いために、ガラス基板10からポリマー層25を容易に分離することができる。このとき、ポリマー層25は、光電子素子部45を支持する役割を行

10

20

30

40

50

い、光電子素子部 4 5 が損傷されたり壊れたりする問題を防止する役割が可能である。それと関係して、ポリマー層 2 5 の厚みは、比較的厚いことがある。例えば、ポリマー層 2 5 の厚みは、約 5 0 0 μm ~ 2 mm ほどでもある。

【0166】

図 2 3 C を参照すれば、弾性ポリマーを含む第 2 基板 6 5 を水平方向に引っ張った状態で、引っ張られた第 2 基板 6 5 上に、ポリマー層 2 5、光電子素子部 4 5 及び接着層 5 5 を含む積層構造物を付着させることができる。このとき、接着層 5 5 が、第 2 基板 6 5 に付着することができる。従って、光電子素子部 4 5 は、上下に逆転された状態で、第 2 基板 6 5 上に具備される。すなわち、光電子素子部 4 5 は、第 2 基板 6 5 側から順に配置された、第 2 電極 4 5 f、電子輸送層 4 5 e、発光層 4 5 d、正孔輸送層 4 5 c、正孔注入層 4 5 b 及び第 1 電極 4 5 a を含んでもよい。そして、光電子素子部 4 5 上に、ポリマー層 2 5 が位置することができる。

10

【0167】

図 2 3 D を参照すれば、基板 6 5 に対する引っ張りを解除し、光電子素子部 4 5 に波状構造を形成することができる。図 2 3 D の素子は、図 1 1 の素子 1 0 0 G に対応する。

【0168】

本発明の他の実施形態によれば、図 2 3 C または図 2 3 D のポリマー層 5 5 上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層をさらに形成することができる。その結果物が図 2 4 に図示されている。

【0169】

20

図 2 4 を参照すれば、ポリマー層 5 5 上に、弾性ポリマーを含むキャッピング層 7 5 を形成することができる。キャッピング層 7 5 は、図 2 3 C の段階または図 2 3 D の段階で形成することができる。ポリマー層 2 5 は、光電子素子部 4 5 とキャッピング層 7 5 との間に配置され、光電子素子部 4 5 は、第 2 基板 6 5 とキャッピング層 7 5 との間に配置される。光電子素子部 4 5 は、力学的中立面 (MNP) あるいはその近傍に位置することができる。キャッピング層 7 5 は、図 1 8 のキャッピング層 7 0 と同一であるか類似した物質から形成することができる。図 2 4 の素子は、図 1 2 の素子 1 0 0 H に対応する。

【0170】

図 2 5 は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子に適用されるグラフェン／PEDOT 積層構造の波状構造を示す平面写真である。グラフェン／PEDOT 積層構造は、前変形された PDMS 基板上に形成された後、PDMS 基板の引っ張りを解除することにより、波状構造を有するように形成された。このとき、PDMS 基板の前変形率は、25%であった。図 2 5 の平面写真は、光学顕微鏡によって撮影されたものである。

30

【0171】

図 2 5 を参照すれば、グラフェン／PEDOT 積層構造に、波状構造が形成されていることを確認することができ、波状構造は、比較的均一な波形を有するということが分かる。

【0172】

図 2 6 は、グラフェン／PEDOT 積層構造において、PEDOT 層の厚みによる波状構造の波長変化を示すグラフである。グラフェン／PEDOT 積層構造は、前変形された PDMS 基板上に形成された後、PDMS 基板の引っ張りを解除することにより、波状構造を有するように形成された。このとき、PDMS 基板の前変形率は、25%であった。また、図 2 6 には、グラフェンなしに、PEDOT 層のみを PDMS 基板に形成した場合の、PEDOT 層の厚みによる波状構造の波長変化結果が含まれている。

40

【0173】

図 2 6 を参照すれば、グラフェン／PEDOT 積層構造を使用した場合と、グラフェンなしに PEDOT 層を使用した場合とにおいて、いずれも PEDOT 層の厚みが増加することにより、波状構造の波長（平均波長）が増大するということが分かる。また、PEDOT 層だけを使用した場合より、グラフェンを共に使用した場合、波状構造の波長（平均波

50

長)が若干増加したということを確認することができる。それは、グラフェンを共に使用した場合、グラフェンによって、ヤング率が上昇するからであると推定される。

【0174】

図27は、グラフェン/PEDOT積層構造のストレッチングによるモルフォロジー(morphology)変化を示す平面写真である。25%ほど前変形されたPDMS基板上に、グラフェン/PEDOT積層構造を形成した後、PDMS基板に対する引っ張りを解除し、波状構造を有するグラフェン/PEDOT構造物を形成し、該構造物に対するストレッチングを進めながらモルフォロジー変化を確認した。図27において、(A)図面は、引っ張り変形率が0%である場合であり、(B)図面は、引っ張り変形率が5%である場合であり、(C)図面は、引っ張り変形率が10%である場合であり、(D)図面は、引っ張り変形率が15%である場合であり、(E)図面は、引っ張り変形率が20%である場合であり、(F)図面は、引っ張り変形率が25%である場合である。

10

【0175】

図27を参照すれば、引っ張り変形率が上昇するにつれ、すなわち、(A)図面から(F)図面に行くほど波状(wavy)程度が徐々に低下するということが分かる。(F)図面の場合、すなわち、引っ張り変形率が25%ほどである場合、表面のしわがほぼなくなっているということが分かる。このような結果は、PDMS基板の前変形率と関係する。PDMS基板の前変形率が上昇するほど、グラフェン/PEDOT構造の引っ張り変形率が上昇するのである。

【0176】

20

図28は、波状構造を有するグラフェン/PEDOT積層構造の変形率による面抵抗(sheet resistance (Ω/sq))の変化を測定した結果を示すグラフである。グラフェン/PEDOT積層構造は、30%前変形されたPDMS基板上に形成され、このとき、PEDOT層の厚みは、55nmであった。

【0177】

図28を参照すれば、変形率(引っ張り変形率)がおよそ30%になるまでは、面抵抗の変化がほとんど発生せず、変形率が30%以上に上昇する場合、面抵抗が若干増大した。変形率が50%であるとき、面抵抗は、約127 Ω/sq であったが、このような面抵抗数値は、正極として使用するのに問題がないレベルでもある。図28の結果から、PDMS基板の前変形率と同一(類似)レベルの変形率までは面抵抗がほとんど変化せず、その以上に変形されても、面抵抗が大きく増大しないということが分かる。

30

【0178】

図29は、波状構造を有するPDMS/グラフェン/PEDOT積層構造の透過率(transmittance)を測定した結果を示すグラフである。光の波長を、約275nmから800nmまで変化させながら透過率を測定した。PDMS/グラフェン/PEDOT積層構造において、PEDOT層の厚みは、50nmであり、グラフェン層は、単一グラフェンシートである。また、図29は、PDMS基板(厚み:2.4mm)に係わる透過率データも含む。

【0179】

図29を参照すれば、PDMS基板自体の透過率が90%以上と非常に高いことが分かる。また、PDMS/グラフェン/PEDOT積層構造の透過率も、約80~90%ほどと高いことが分かる。光の波長が550nmである場合、PDMS/グラフェン/PEDOT積層構造の透過率は、約87.2%である。従って、PDMS/グラフェン/PEDOT積層構造は、透明であるか、ほぼ透明であるといえる。従って、このような構造は、光学素子(発光素子など)に有用に適用される。

40

【0180】

一方、図29のグラフェン/PEDOT積層構造の面抵抗は、約92 Ω/sq であった。単一グラフェンであるか、それと同一厚のPEDOT層の抵抗より、グラフェン/PEDOT積層構造の抵抗が約4~7倍ほど低い。従って、グラフェン/PEDOT積層構造は、正極電極としての使用に適する。

50

【0181】

図30は、前変形されたPDMS基板の上に転写印刷された量子ドット層の波状構造を示す平面写真である。図30の(A)図面は、量子ドット層の厚みが40nmである場合であり、(B)図面は、量子ドット層の厚みが90nmである場合であり、(C)図面は、量子ドット層の厚みが120nmである場合であり、(D)図面は、量子ドット層の厚みが200nmである場合である。

【0182】

図30を参照すれば、量子ドット層の厚みが増加するにつれ、すなわち、(A)図面から(D)図面に行くほど、波状構造の波長が増大するということが分かる。(A)図面の平均波長は、約4.85 μ mであり、(B)図面の平均波長は、約10.95 μ mであり、(C)図面の平均波長は、約14.9 μ mであり、(D)図面の平均波長は、約20 μ mである。一方、図30で測定された平均波長を利用して、数式から計算された量子ドット層のヤング率は、約47GPaであった。

【0183】

図31は、前変形されたPDMS基板の上に転写印刷された量子ドット層の厚みによる波状構造の波長変化を示すグラフである。

【0184】

図31を参照すれば、量子ドット層の厚みが増加するほど、波状構造の波長(平均波長)が増大するということが分かる。このような結果は、図30の結果に対応する。

【0185】

図32は、弾性基板(Ecoflex(登録商標)基板)上に形成されたPEN/グラフェン積層構造のストレッチングによるモルフォロジー変化を示す平面写真である。70%ほど前変形されたEcoflex(登録商標)基板上に、PEN/グラフェン積層構造を形成した後、Ecoflex(登録商標)基板に対する引っ張りを解除し、波状構造を有するPEN/グラフェン構造物を形成し、該構造物に対するストレッチングを進めながらモルフォロジー変化を確認した。PEN層の厚みは、1.3 μ mであった。図32において、(A)図面は、引っ張り変形率が0%である場合であり、(B)図面は、引っ張り変形率が30%である場合であり、(C)図面は、引っ張り変形率が50%である場合であり、(D)図面は、引っ張り変形率が70%の場合である。

【0186】

図32を参照すれば、引っ張り変形率が上昇するにつれ、すなわち、(A)図面から(D)図面に行くほど波状程度が徐々に低減するということが分かる。(D)図面の場合、すなわち、引っ張り変形率が70%ほどである場合、表面のしわがほとんど消えているということが分かる。このような結果は、Ecoflex(登録商標)基板の前変形率と関係する。Ecoflex(登録商標)基板の前変形率が上昇するほど、PEN/グラフェン積層構造の引っ張り変形率が上昇する。

【0187】

図33の(A)及び(B)は、本発明の一実施形態による光電子素子の単軸波状構造及び多軸波状構造を示す平面写真である。(B)図面の多軸波状構造は、二軸波状構造(biaxial wavy structure)である。弾性を有する基板を一方向(例えば、X軸方向)または両方向(例えば、X軸方向及びY軸方向)に伸ばした後、その上に多層構造の光電子素子部を形成することができ、基板に対する引っ張りを解除し、単軸波状構造(A)または多軸波状構造(B)を有する光電子素子を得ることができる。図33から分かるように、クラックなしに、単軸または多軸に伸びることができる波状構造を製造することができる。

【0188】

図34は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル/フォールダブル光電子素子(発光素子)が駆動される様子を示す写真である。図34の(A)図面は、緑色発光素子を示し、(B)図面は、赤色発光素子を示す。本実施形態の光電子素子(発光素子)は、前変形されたPDMS基板上に、グラフェン層と量子ドット層とを含む光電子素子部を付着させて形成したものである。PDMS基板と光電子素子部との間にPEN層が具備される

。

【0189】

図35は、図34の光電子素子（発光素子）を曲げて（bending）折り曲げた（folding）場合を示す写真である。図35を参照すれば、本発明の一実施形態による光電子素子（発光素子）を曲げたり折り曲げた場合にも、電氣的、光学的な特性低下なしに、正常に駆動するということが分かる。このとき、光電子素子の曲げ半径は、1 mm以下でもある。

【0190】

図36は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）をストレッチングした場合を示す写真である。本実施形態の光電子素子（発光素子）は、前変形されたPDMS基板上に、グラフェン層と量子ドット層とを含む光電子素子部を付着させて形成したものである。PDMS基板と光電子素子部との間に、PEN層が具備される。PEN層の厚みは、12 μm であった。図36から分かるように、光電子素子（発光素子）を約23%まで引っ張り変形しても、発光特性が良好に維持されるのである。

【0191】

図37は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）のEL（electroluminescence）スペクトルを示すグラフである。図37のグラフ（A）は、緑色発光素子に係わるものであり、グラフ（B）は、赤色発光素子に係わるものである。光電子素子（発光素子）の製造方法は、図36の実施形態で説明したところと同一である。

【0192】

図37を参照すれば、グラフ（A）及びグラフ（B）それぞれは、当該カラーの波長において、高い強度（intensity）を有し、ノイズ（noise）がほとんどないということを確認することができる。それぞれの素子は、量子ドットQD固有の光学的性質によって、FWHM（full width at half maximum）が30 nm以内と狭かった。それは、それぞれの素子がすぐれた色純度を有するということを意味する。

【0193】

図38は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の電圧－電流密度特性を示すグラフである。図38のグラフ（A）は、緑色発光素子に係わるものであり、グラフ（B）は、赤色発光素子に係わるものである。図38において電圧は、光電子素子の2つの電極（第1電極及び第2電極）間に印加される電圧を意味し、電流密度は、これらの2つの電極間の電流密度を意味する。

【0194】

図39は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の電圧－輝度（brightness）特性を示すグラフである。図39のグラフ（A）は、緑色発光素子に係わるものであり、グラフ（B）は、赤色発光素子に係わるものである。図39を参照すれば、光電子素子の最大輝度は、約1, 200 cd/m^2 ほどと高かった。

【0195】

図40は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の電流密度－発光効率特性を示すグラフである。図40のグラフ（A）は、緑色発光素子に係わるものであり、グラフ（B）は、赤色発光素子に係わるものである。図40を参照すれば、光電子素子の最大効率は、約1 cd/A ほどと高かった。

【0196】

図41は、PEN層のようなプラスチック物質層を使用せずに前変形されたPDMS基板の上に、直接形成した光電子素子（発光素子）を示す写真である。前記光電子素子（発光素子）は、グラフェン－量子ドットを利用したLED（light emitting device）である。

【0197】

図42及び図43は、図41の光電子素子（発光素子）の特性を評価した結果を示すグ

10

20

30

40

50

ラフである。図 4 2 は、電圧－電流密度特性を示し、図 4 3 は、電圧－輝度特性を示す。

【0198】

図 4 4 は、前変形された P D M S 基板上に、プラスチック物質層（P E N 層）を使用して製造した光電子素子（発光素子）を示す写真である。前記光電子素子（発光素子）は、グラフェン－量子ドットを利用した L E D である。このとき、プラスチック物質層（P E N 層）の厚みは、25 μ m であった。

【0199】

図 4 5 は、図 4 4 の光電子素子（発光素子）をストレッチングした場合を示す写真であり、図 4 6 は、図 4 4 の光電子素子（発光素子）を曲げた場合を示す写真である。図 4 5 から、光電子素子（発光素子）の引っ張り変形率が約 8 % 以上であるということが分かり、図 4 6 から、光電子素子（発光素子）の曲げ半径が約 1 mm 以上であるということが分かる。

【0200】

図 4 7 ないし図 4 9 は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）の特性を評価した結果を示すグラフである。図 4 7 は、電圧－電流密度特性を示し、図 4 8 は、電圧－輝度特性を示し、図 4 9 は、電流密度－発光効率特性を示す。本実施形態の光電子素子（発光素子）は、前変形された弾性基板上に、グラフェン層と量子ドット層とを含む光電子素子部を付着させて形成したものである。弾性基板と光電子素子部との間に、P E N 層が具備される。このとき、P E N 層の厚みは、12 μ m であった。前記光電子素子は、赤色発光素子である。図 4 8 において、最大輝度は 1,200 cd/m^2 以上と高く、図 4 9 において、最大効率は、約 2.3 cd/A ほどと高く示された。

【0201】

図 5 0 は、比較例による発光素子の電流密度－発光効率特性を示すグラフである。比較例による発光素子は、I T O (indium tin oxide) 電極を使用した、量子ドット層を含む剛性発光素子（L E D）である。図 5 0 を参照すれば、比較例による発光素子の最大効率は、約 0.43 cd/A ほどと低かった。それは、図 4 9 の実施形態による発光素子の最大効率が約 2.3 cd/A ほどであるということと比較し、はるかに低い数値である。

【0202】

図 5 1 は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）を適用した P P G (photoplethysmography) センサを利用して、被検体（人）の心臓拍動数を測定した結果を示すグラフである。P P G センサは、被検体の指に差し入れられた形態を有し、実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）は、P P G センサの光源として使用される。このとき、光源に対して、ウェアラブル／ストレッチャブル／フォールダブルの特性が要求される。P P G センサは、指のような人体部位において、血流による光の透過度変化を感知し、心臓拍動数を測定するのに使用される。

【0203】

図 5 1 を参照し、P P G 信号パルス (signal pulses) が反復的に明らかに良好に示されるということを確認することができる。それを介して、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子が P P G センサとして良好に動作するということが分かる。

【0204】

図 5 2 は、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子（発光素子）を適用した P P G センサを利用して測定された P P G 信号パルス (signal pulses) のうち 1 周期に対応するパルスを示すグラフである。

【0205】

図 5 3 は、比較例による発光素子を適用した P P G センサを利用して測定された P P G 信号パルス (signal pulses) のうち 1 周期に対応するパルスを示すグラフである。ここで、比較例による発光素子は、図 5 0 で説明した比較例による発光素子と同一である。

【0206】

図52及び図53を比較すれば、比較例による発光素子を利用する場合（図53）、実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を利用する場合（図52）より、ノイズが大きく増加し、信号状態が好ましくないということが分かる。結果的に、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を利用する場合、優秀な測定特性を確保する可能性があるということが分かる。

【0207】

図54は、本発明の一実施形態によるセンサシステム（sensor system）を示すシステム図面である。

【0208】

図54を参照すれば、該センサシステムは、モバイル機器素子（mobile equipment device）と電子パッチ（electronic patch）とを使用して具現される。モバイル機器素子は、コントローラ（controller）、通信チップ（communication chip）（例えば、ラジオチップセット（radio chipset））、駆動集積回路（drive IC（integrated circuit））及びアプリケーションプロセッサ（AP：application processor）を含んでもよい。アプリケーションプロセッサ（AP）は、CPU（central processing unit）、RAM（random access memory）及びメモリチップ（memory chip）を含んでもよい。電子パッチ（electronic patch）は、アンテナ（antenna）、通信チップ（communication chip）（例えば、ラジオチップセット）、スーパーキャパシタ（supercapacitor）及び光電子センサ（optoelectronic sensor）を含んでもよい。光電子センサ（optoelectronic sensor）は、図1ないし図15を参照して説明した実施形態による少なくとも1つのストレッチャブル素子に連結されたセンサ回路（sensor circuit）を含んでもよい。

【0209】

モバイル機器素子内に具備された通信チップ（communication chip）は、アンテナ（antenna）に連結される。電子パッチ内に具備された通信チップも、アンテナに連結される。このようなアンテナを使用して、モバイル機器素子と電子パッチは、電力（power）及びデータ信号（data signal）を相互交換することができる。

【0210】

アプリケーションプロセッサ（AP）に具備されたメモリチップ（memory chip）は、フラッシュメモリ、相変化メモリ（PRAM）、磁気メモリ（MRAM）、抵抗性メモリ（ReRAM）または強誘電性メモリ（FRAM（登録商標））のような不揮発性メモリ素子でもある。

【0211】

モバイル機器素子が、電子パッチと通信近接距離内にあるとき、例えば、モバイル機器素子が、電子パッチと隣接しているとき、電子パッチは、モバイル機器素子から電力及びデータ信号を受信することができる。電力及びデータ信号は、電子パッチのアンテナによって受信され、電子パッチの通信チップ及びスーパーキャパシタに伝送される。言い換えれば、電子パッチによって受信された電力及びデータ信号は、電子パッチのアンテナを介して、通信チップ及びスーパーキャパシタに伝送される。スーパーキャパシタは、光電子センサの動作のために、光電子センサに電力を提供することができる。

【0212】

光電子センサが光を感知したとき、光電子センサは、電子パッチの通信チップに信号を伝送することができる。電子パッチの通信チップは、光電子センサから受信した信号を処理し、処理された信号を、アンテナを使用して、電力及びデータ信号として伝送することができる。モバイル機器素子の通信チップは、電力及びデータ信号を受信し、それをコントローラに伝送することができる。コントローラは、受信された電力及びデータ信号を、アプリケーションプロセッサ（AP）に伝送することができ、受信された信号は、CPUによって分析され、メモリチップ内に保存される。また、アプリケーションプロセッサ（AP）は、駆動集積回路を使用して、モバイル機器素子の通信チップを制御することができる。

【0213】

図55は、本発明の一実施形態によるセンサシステム（sensor system）の回路図である。

【0214】

図55を参照すれば、光電子素子から発生された信号を処理するように構成された回路は、センシングユニット（sensing unit）、ハイパスフィルタ（HPF：high pass filter）、ローパスフィルタ（LPF：low pass filter）及び利得増幅器（gain amplifier）を含んでもよい。センシングユニットは、発光素子LED及びフォトダイオードPDを含んでもよい。発光素子LED及び／またはフォトダイオードPDは、図1ないし図15を参照して説明した実施形態に他のストレッチャブル素子のうち少なくとも一つを含んでもよい。発光素子LEDの一端は、発光素子LEDとパワーサプライピン（power supply pin）VCCとの間に具備された第1抵抗R1に連結される。発光素子LEDの他端は、接地ピン（ground pin）GNDと第2抵抗R2との間のノード（node）に連結される。フォトダイオードPDの一端は、パワーサプライピンVCCに連結される。フォトダイオードPDの他端は、第2抵抗R2と、ハイパスフィルタHPFの第1キャパシタC1とに連結されたライン間のノードに連結される。

10

【0215】

ハイパスフィルタHPFは、第1キャパシタC1と第2キャパシタC2、動作増幅器（operation amplifier；HPF動作増幅器）及び複数の抵抗R3～R6を含んでもよい。第1キャパシタC1及び第2キャパシタC2は、HPF動作増幅器の第1端子に連結される。第1端子は、正（+）の端子でもある。接地ピンGNDは、また第2キャパシタC2と第1端子との間のノードに、第3抵抗R3を介して連結される。第1キャパシタC1及び第2キャパシタC2間のノードは、直列に連結された抵抗R4～R6を介して、接地ピンGNDに連結される。第5抵抗R5及び第6抵抗R6の間のノードは、HPF動作増幅器の第2端子に連結される。第2端子は、負（-）の端子でもある。

20

【0216】

図55に図示されているように、ローパスフィルタLPFは、抵抗R7～R10、キャパシタC3、C4及び動作増幅器（LPF動作増幅器）を含んでもよい。HPF動作増幅器の出力端は、ローパスフィルタLPFの第7抵抗R7の一端に連結される。第7抵抗R7及び第8抵抗R8は、LPF動作増幅器の第1端子に直列に連結される。第1端子は、正（+）の端子でもある。第3キャパシタC3、第9抵抗R9及び第10抵抗R10は、第7抵抗R7と第8抵抗R8との間のノードと、接地ピンGNDとの間に直列に連結される。第9抵抗R9と第10抵抗R10との間のノードは、LPF動作増幅器の第2端子に連結される。LPF動作増幅器の第2端子は、負（-）の端子でもある。

30

【0217】

利得増幅器は、動作増幅器（利得動作増幅器）及び抵抗R11、R12を含んでもよい。抵抗R11、R12は、利得動作増幅器の出力端と接地ピンGNDとの間に直列に連結される。LPF動作増幅器の出力端は、利得動作増幅器の第1端子に連結される。利得動作増幅器の第1端子は、正（+）の端子でもある。利得動作増幅器の第2端子は、第11抵抗R11と第12抵抗R12との間のノードに連結される。利得動作増幅器の第2端子は、負（-）の端子でもある。

40

【0218】

以上での説明のように、本発明の一実施形態によれば、優秀な特性を有するストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を具現することができる。このようなストレッチャブル／フォールダブル光電子素子は、優秀な耐久性を有することができる。光電子素子部の波状構造が伸びても、波状構造が平面的構造になるまでは、電気的、光学的な特性が安定して維持される。また、光電子素子部が力学的中立面あるいはその近傍に位置する場合、素子が大きく反復して変形しても、光電子素子部は、応力を受けないか、あるいはほとんど受けない。また、グラフェンは、優秀な柔軟性を有して機械的強度にすぐれるために、1mm以下の曲げ半径でも、本来の特性／機能を良好に維持することができ、波状構造内

50

で自由に伸びることができる。また、量子ドットは、高い色純度、高い量子収率、高安定性及び自体発光特性を有し、ドットサイズの調節による色調節が容易であり、波状構造内でストレッチャブル及びフォールダブルな特性を有することができる。量子ドットを含む層は、発光層でもあるので、前記ストレッチャブル／フォールダブル光電子素子は、発光面自体が伸びたり折り曲がったりする素子でもある。このようなストレッチャブル／フォールダブル光電子素子は、約５％以上、または約１００％以上の引っ張り変形率を有し、１mm以下の曲げ半径でも、輝度や発光効率の低下なしに正常に駆動される。

【０２１９】

本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子は、次世代モバイルディスプレイ、ストレッチャブル面発光装置、屈曲があるガラス面に付着して使用する透明ディスプレイ、ウェアラブルディスプレイ、バイオセンシングのためのパッチタイプ光源、PPGセンサ、外科手術用グローブに適用される光源など多様な分野のさまざまな用途に使用される。ここで提示した分野は、例示的なものであり、それ以外に他の多様な分野にも、前記ストレッチャブル／フォールダブル光電子素子を適用することができる。

【０２２０】

前述のところで多くの事項が具体的に記載されているが、それらは、発明の範囲を限定するものとするよりも、具体的な実施形態の例示として解釈されなければならない。例えば、本発明が属する技術分野で当業者であるならば、図１ないし図１５のストレッチャブル／フォールダブル光電子素子の構成が多様に変化されるということが分かるであろう。具体的な例として、グラフェン層及び量子ドット含有層のうち少なくとも一つは、他の物質で代替され、光電子素子部の積層構造は、多様に変化されるということが分かるであろう。また、図１７ないし図２４を参照して説明したストレッチャブル／フォールダブル光電子素子の製造方法も多様に変化される可能性があるということが分かるであろう。そして、本発明の一実施形態によるストレッチャブル／フォールダブル光電子素子に適用された原理／思想は、光電子素子だけではなく、それ以外他素子にも適用されるということが分かるであろう。従って、本発明の範囲は、説明された実施形態によって決められるものではなく、特許請求の範囲に記載された技術的思想によって定められるものである。

【産業上の利用可能性】

【０２２１】

本発明のストレッチャブル／フォールダブル光電子素子及びその製造方法、並びに該光電子素子を含む装置は、例えば、フレキシブルエレクトロニクス／ストレッチャブルエレクトロニクス関連の技術分野に効果的に適用可能である。

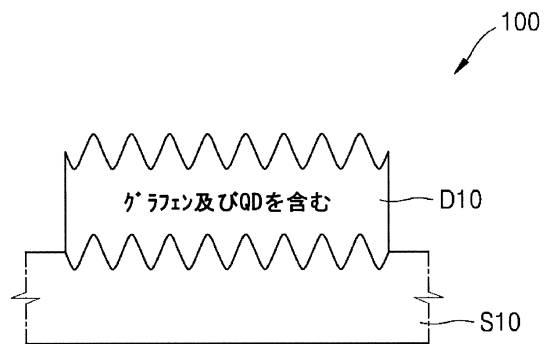
【符号の説明】

【０２２２】

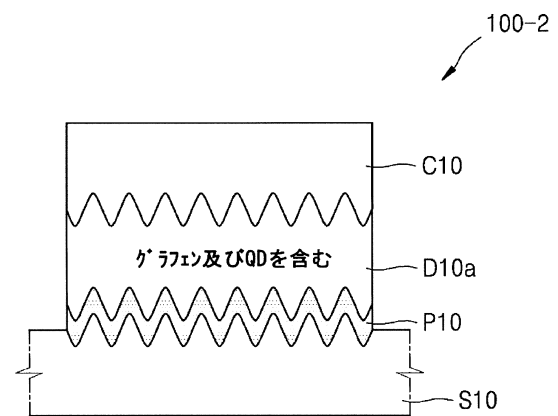
S 1 0 ~ S 1 5	基板
D 1 0 ~ D 1 5	光電子素子部
C 1 0 ~ C 1 5	キャッピング層
P 1 0 ~ P 1 2 , P 1 5	プラスチック物質層
B 1 2 , B 1 4	接着層
P M 1 4	ポリマー層
E 1 1 ~ E 1 5	第１電極
E 2 1 ~ E 2 5	第２電極
L E 1 1 ~ L E 1 5	発光層
E T L 1 1 ~ E T L 1 5	電子輸送層
H T L 1 1 ~ H T L 1 5	正孔輸送層
H I L 1 1 ~ H I L 1 5	正孔注入層
M 1 5	金属層
C R 1	第１コンタクト領域
C R 2	第２コンタクト領域

Q D L 1 量 子 ド ッ ト 含 有 層
1 0 0 , 1 0 0 A ~ 1 0 0 K 光 電 子 素 子

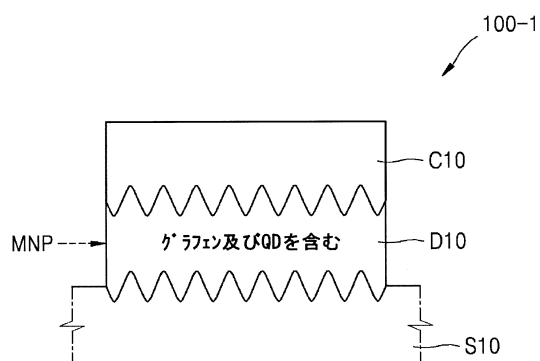
【図 1】



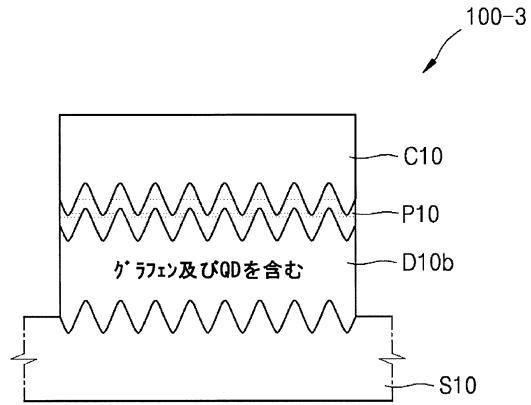
【図 3】



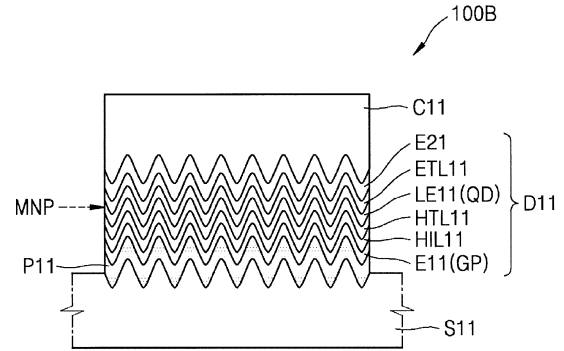
【図 2】



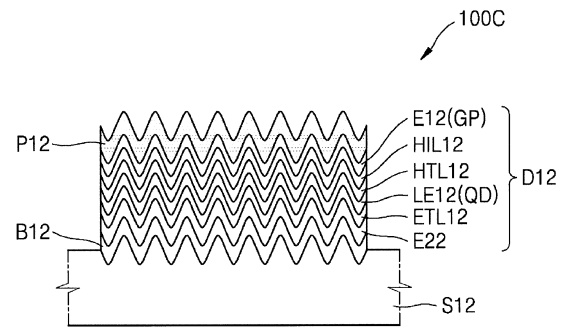
【図 4】



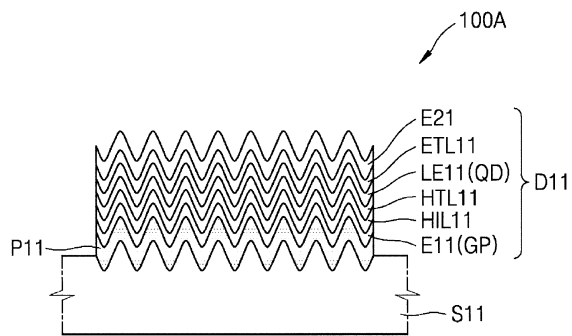
【図 6】



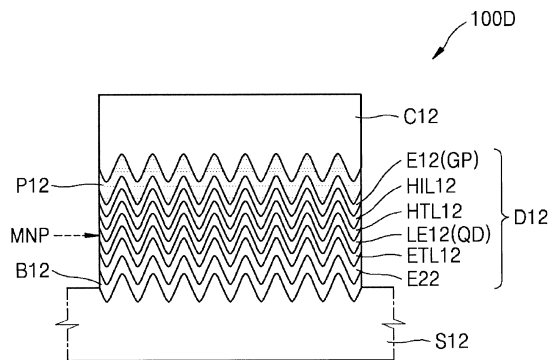
【図 7】



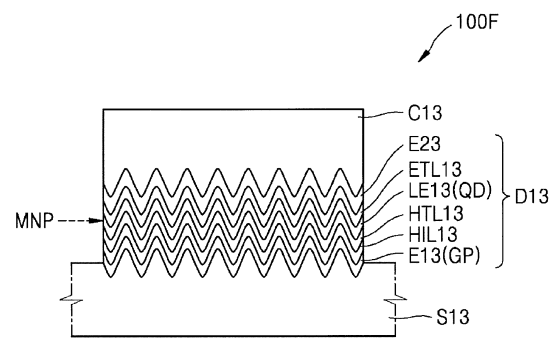
【図 5】



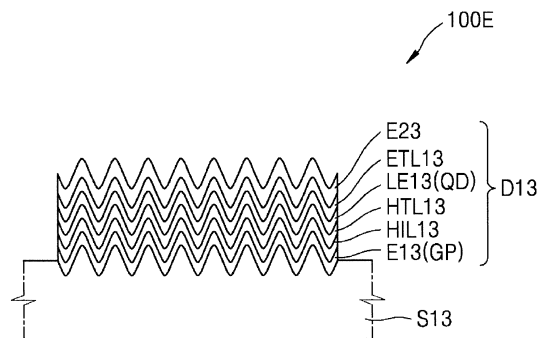
【図 8】



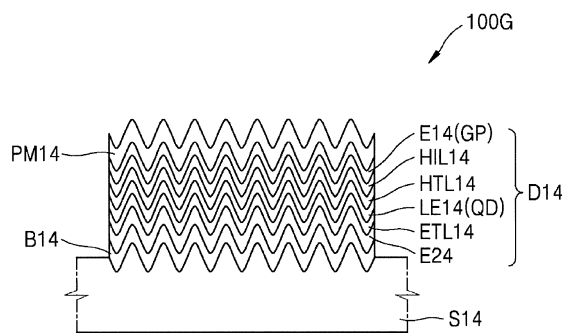
【図 10】



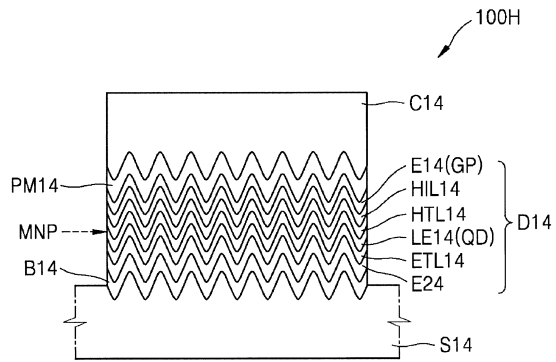
【図 9】



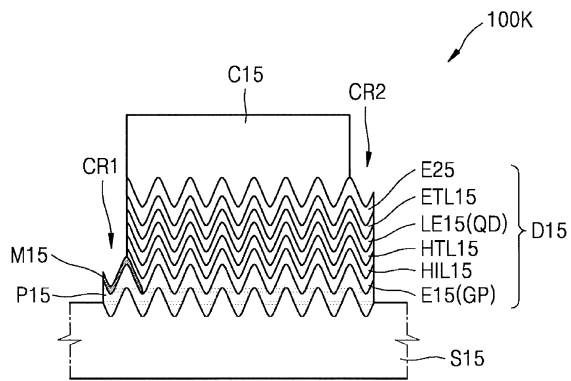
【図 11】



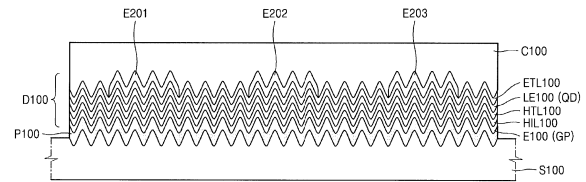
【図 1 2】



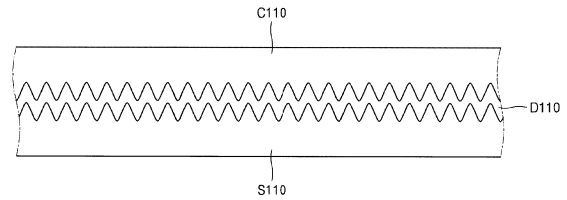
【図 1 3】



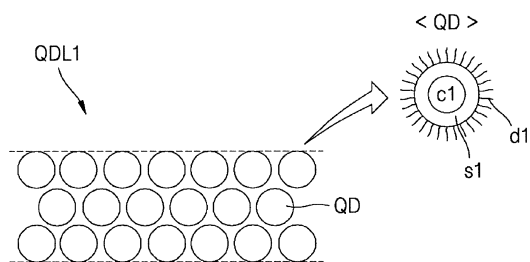
【図 1 4】



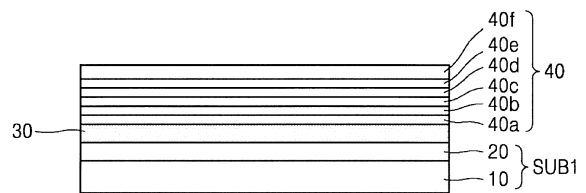
【図 1 5】



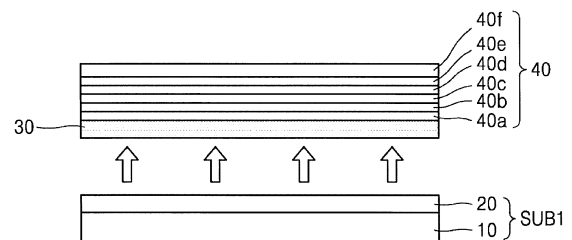
【図 1 6】



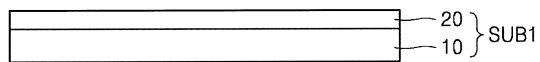
【図 1 7 C】



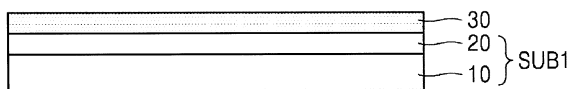
【図 1 7 D】



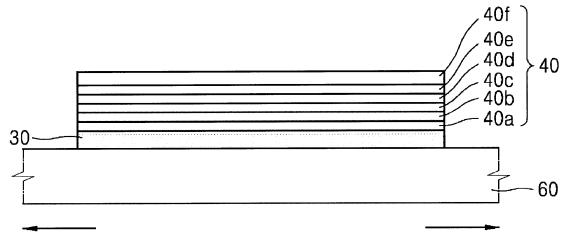
【図 1 7 A】



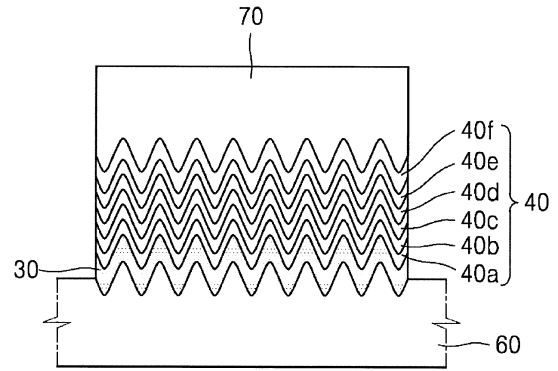
【図 1 7 B】



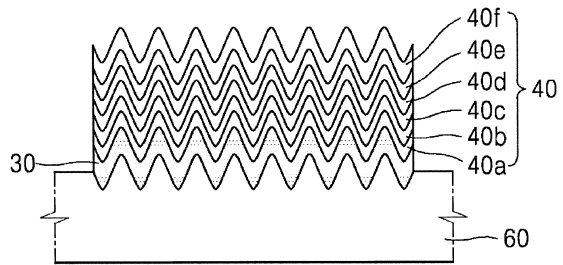
【図 17 E】



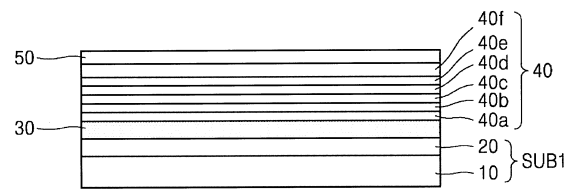
【図 18】



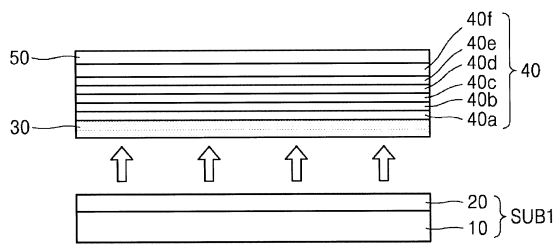
【図 17 F】



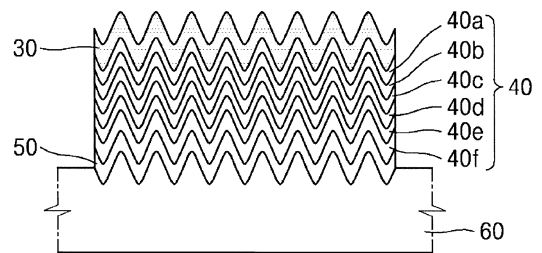
【図 19 A】



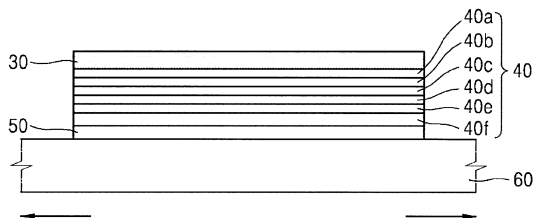
【図 19 B】



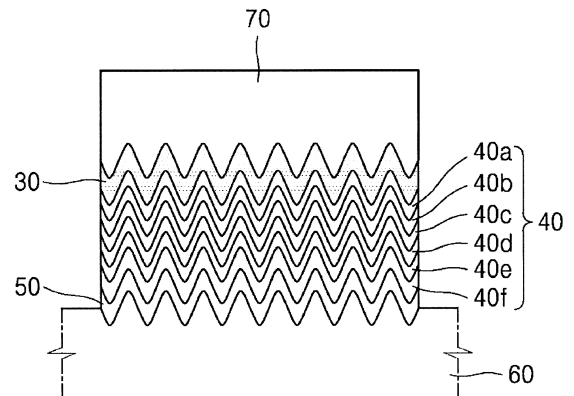
【図 19 D】



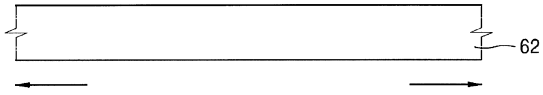
【図 19 C】



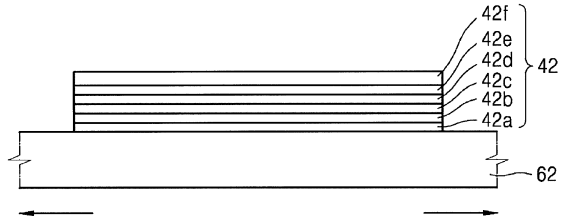
【図 20】



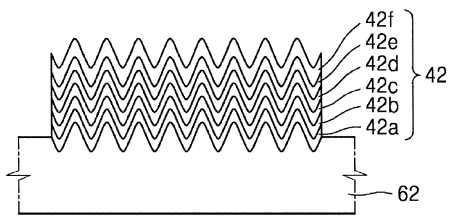
【図 2 1 A】



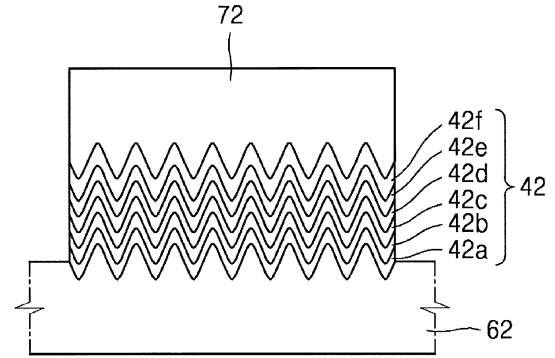
【図 2 1 B】



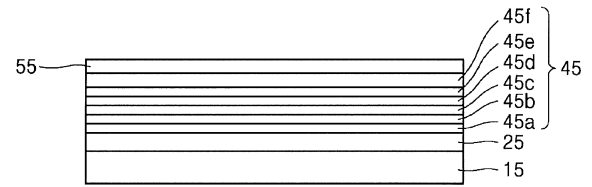
【図 2 1 C】



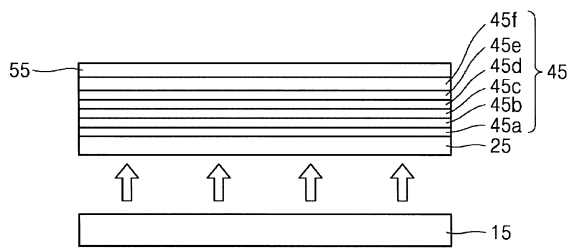
【図 2 2】



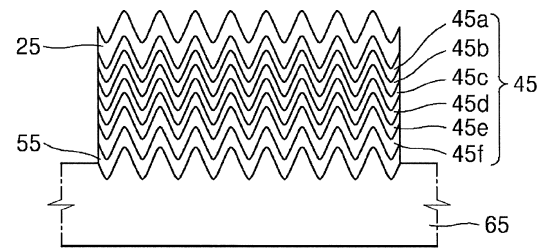
【図 2 3 A】



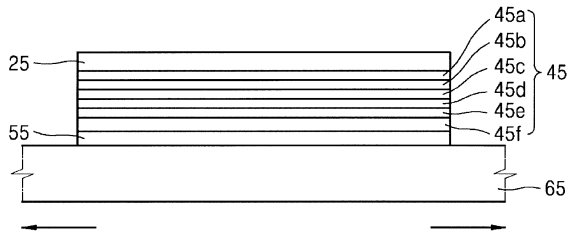
【図 2 3 B】



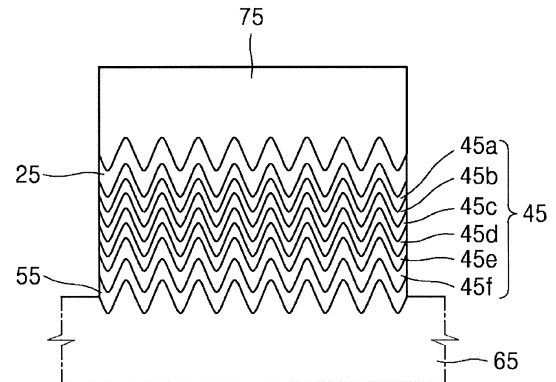
【図 2 3 D】



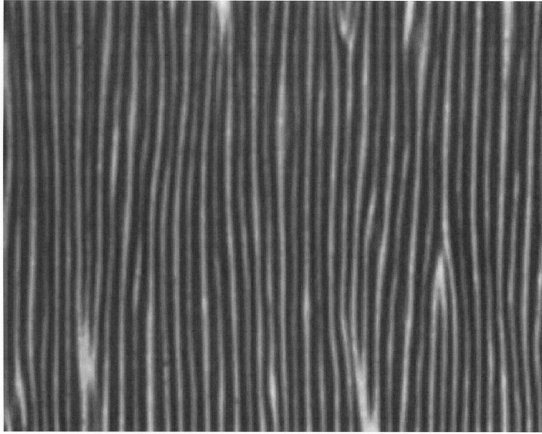
【図 2 3 C】



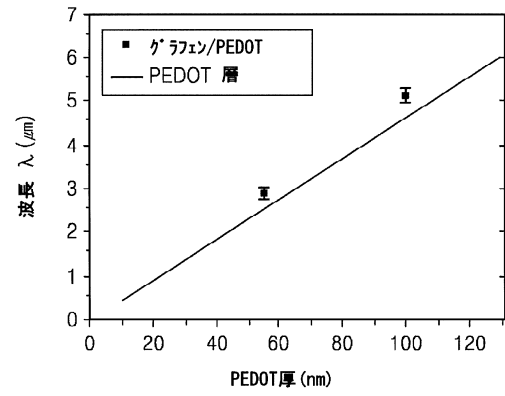
【図 2 4】



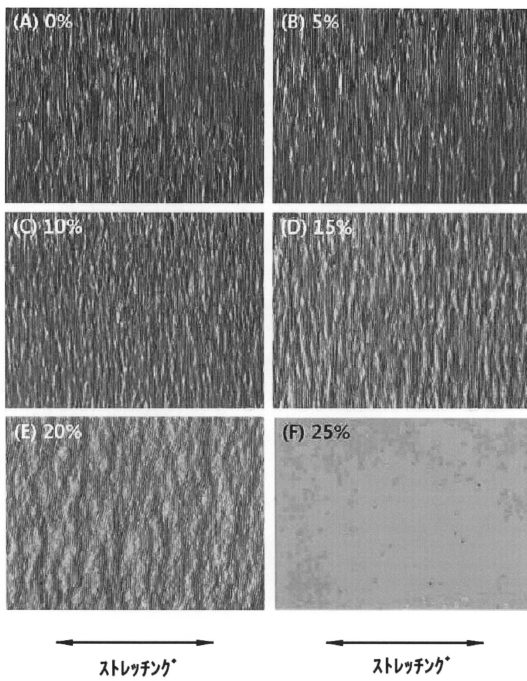
【図 25】



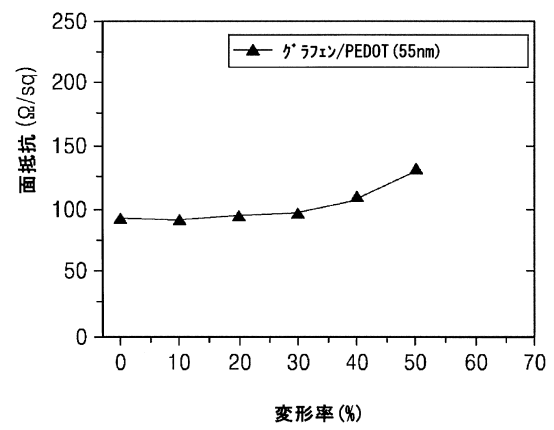
【図 26】



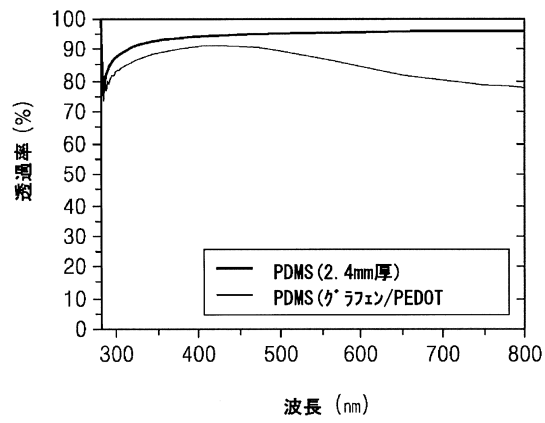
【図 27】



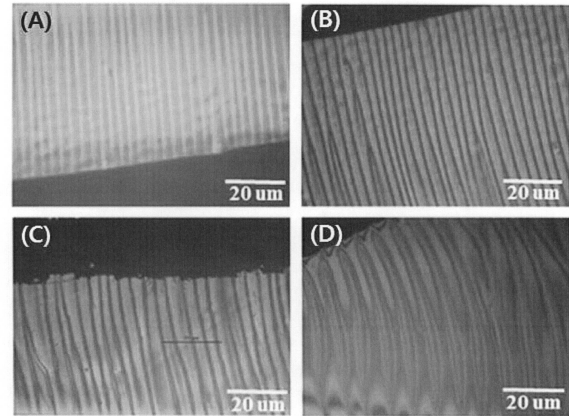
【図 28】



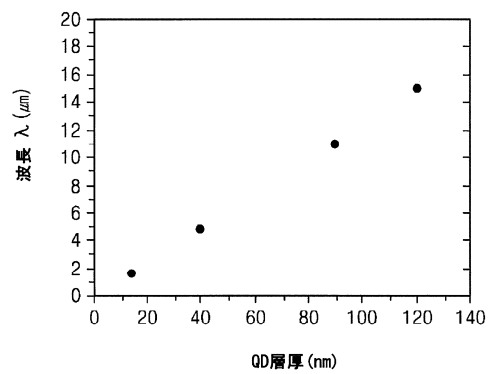
【図 29】



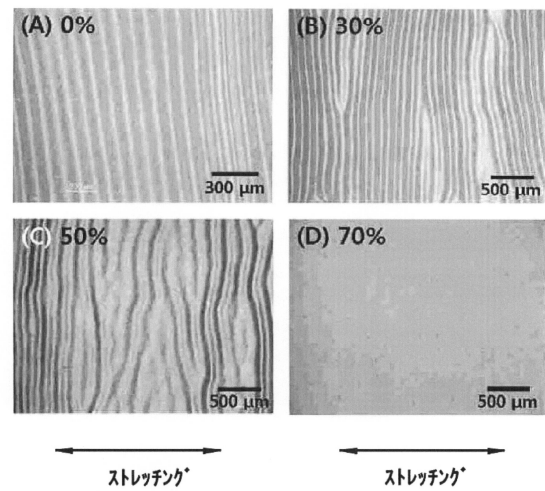
【図 30】



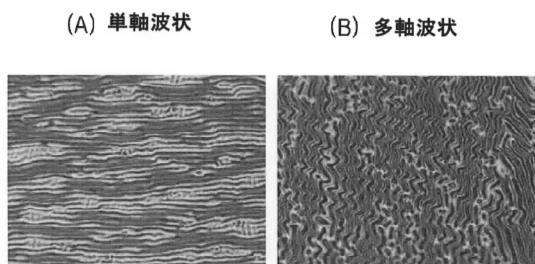
【図 31】



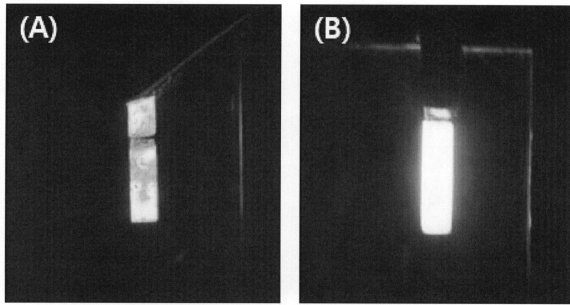
【図 32】



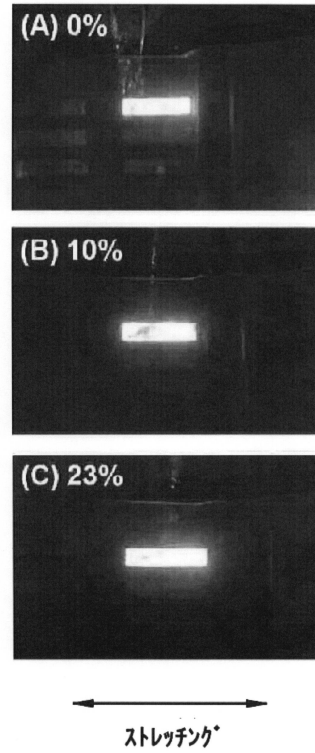
【図 33】



【図 3 4】



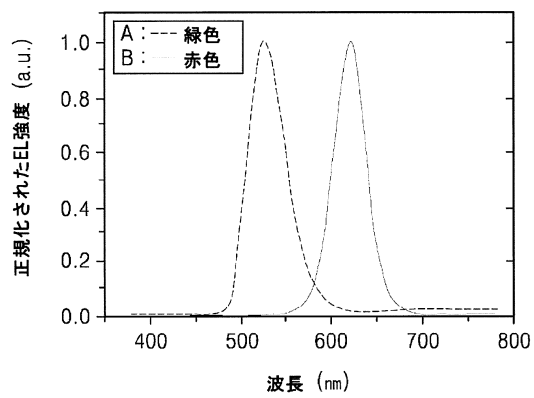
【図 3 6】



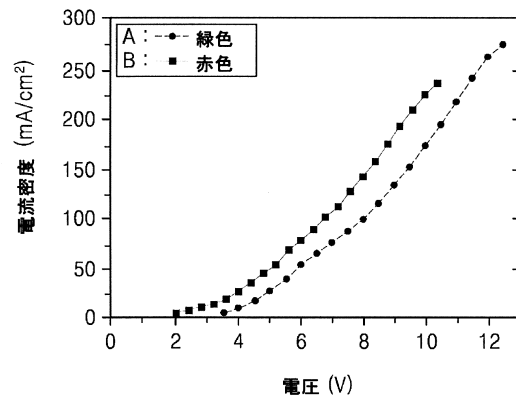
【図 3 5】



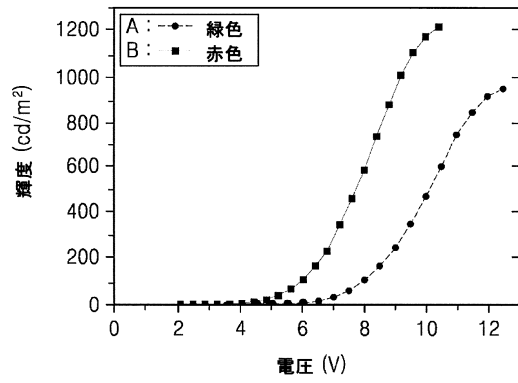
【図 3 7】



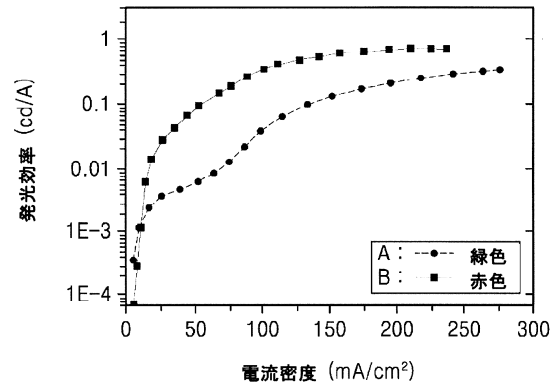
【図 3 8】



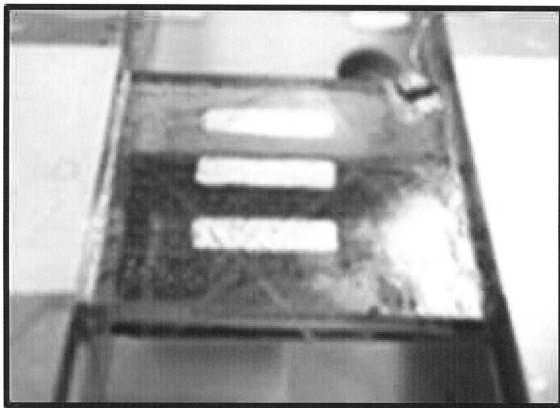
【図 3 9】



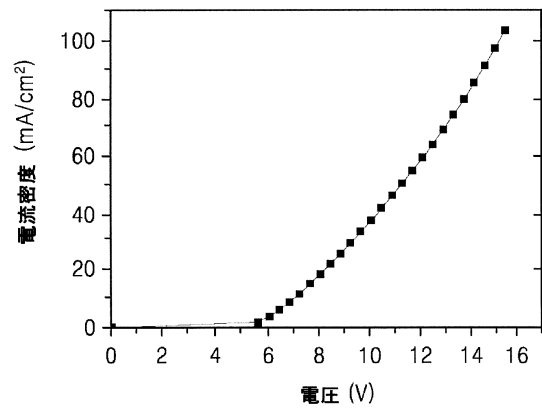
【図 4 0】



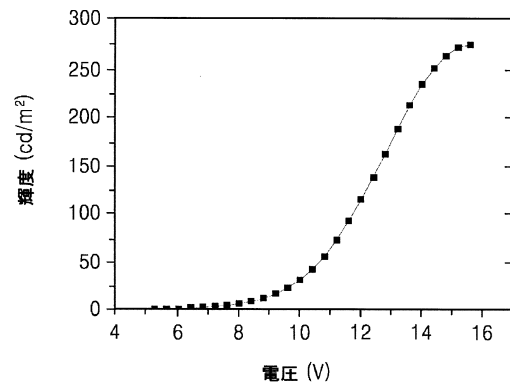
【図 4 1】



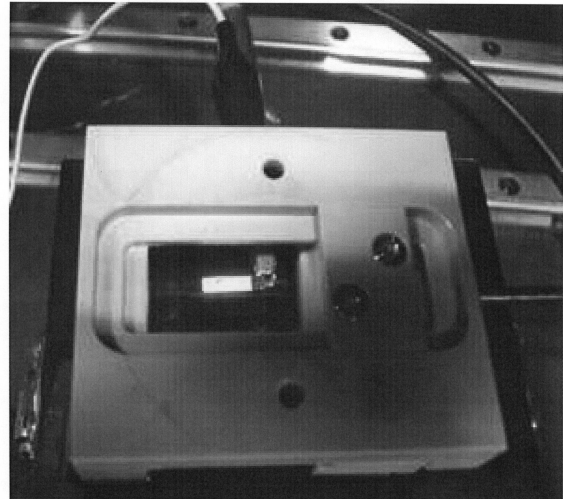
【図 4 2】



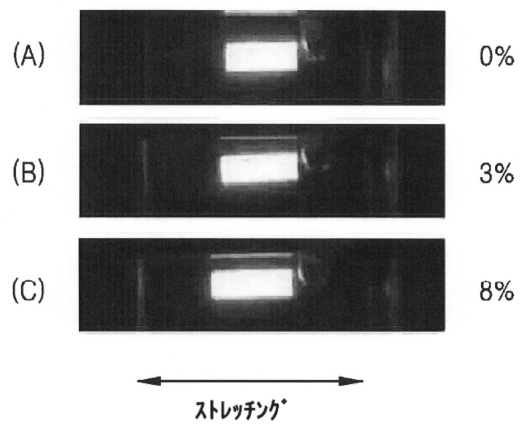
【図 4 3】



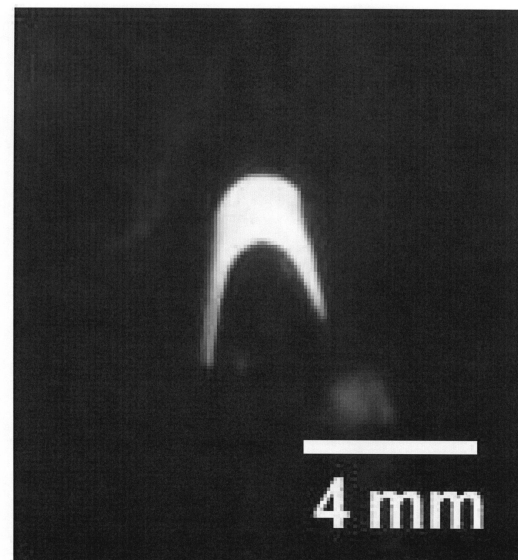
【図 4 4】



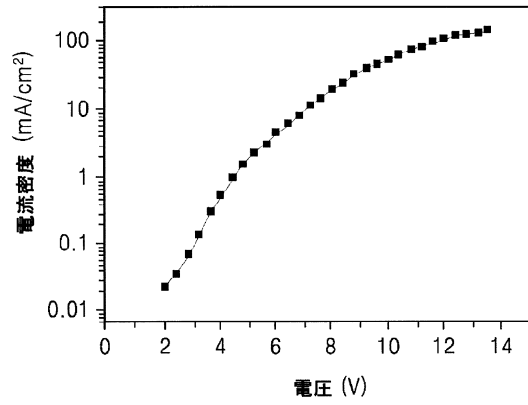
【図 4 5】



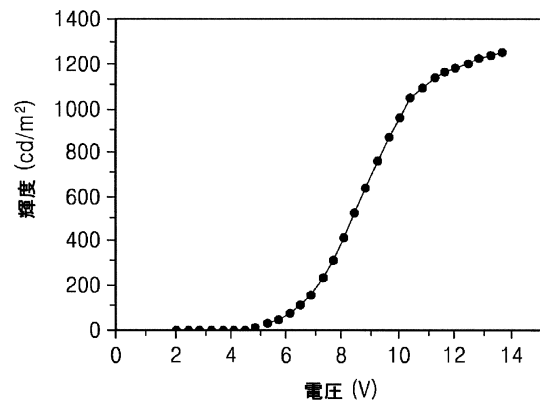
【図 4 6】



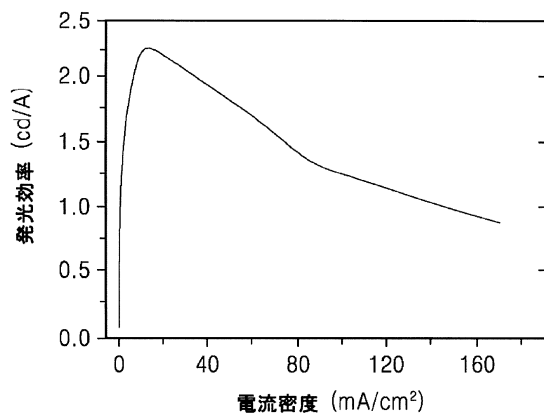
【図 4 7】



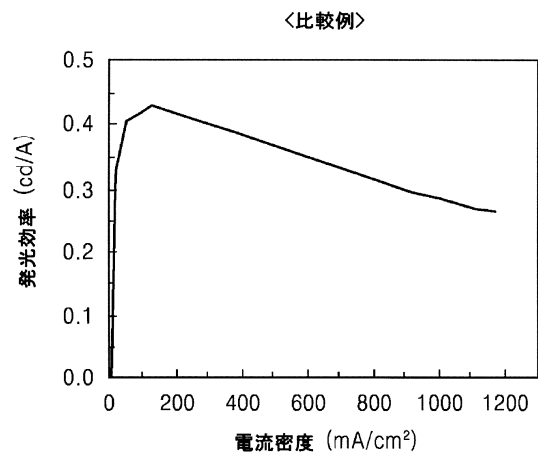
【図 4 8】



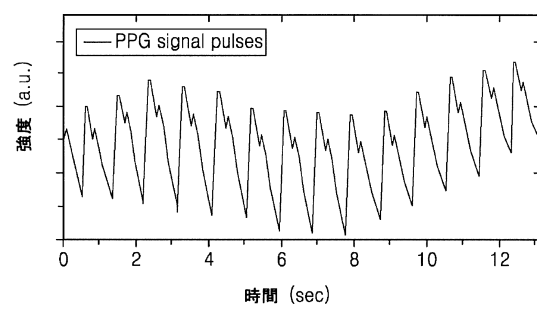
【図 4 9】



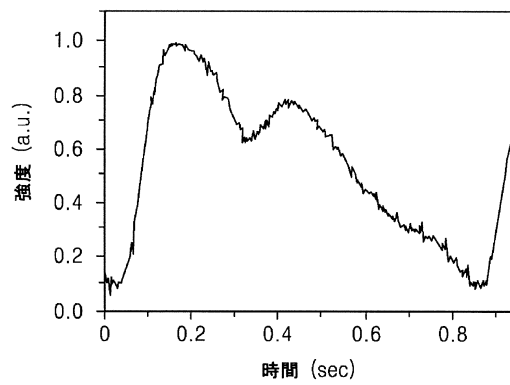
【図 5 0】



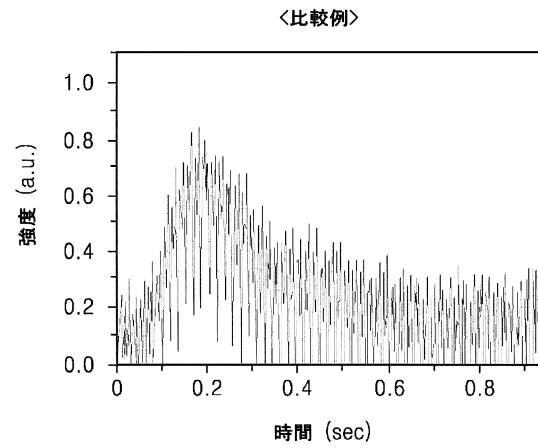
【図 5 1】



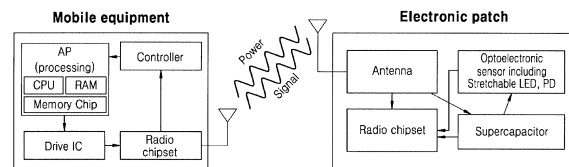
【図 5 2】



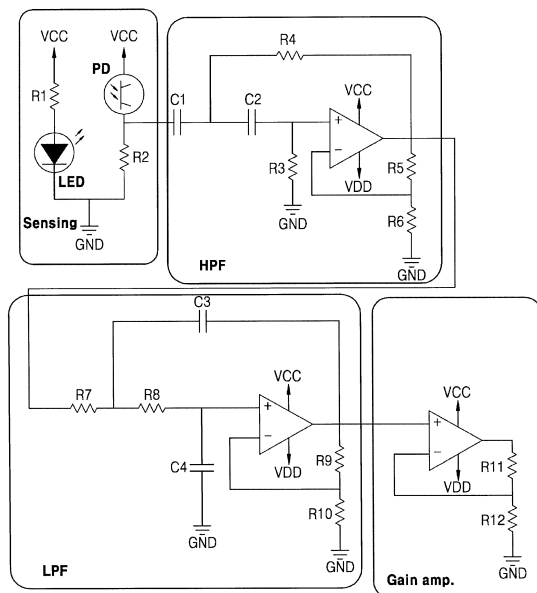
【図 5 3】



【図 5 4】



【図 5 5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>H 0 5 B</i>	<i>33/26</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 5 B</i>	<i>33/26</i>	A
<i>H 0 1 L</i>	<i>51/50</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 5 B</i>	<i>33/22</i>	D
<i>H 0 5 B</i>	<i>33/10</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 5 B</i>	<i>33/10</i>	
<i>H 0 1 L</i>	<i>27/32</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>27/32</i>	
<i>G 0 9 F</i>	<i>9/30</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 9 F</i>	<i>9/30</i>	3 6 5
<i>B 8 2 Y</i>	<i>20/00</i>	<i>(2011.01)</i>	<i>B 8 2 Y</i>	<i>20/00</i>	
<i>H 0 1 L</i>	<i>31/10</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>31/10</i>	A

- (74)代理人 100140534
弁理士 木内 敬二
- (72)発明者 金 泰豪
大韓民国京畿道水原市靈通區三星路130 三星綜合技術院内
- (72)発明者 金 ▲尚▼元
大韓民国京畿道水原市靈通區三星路130 三星綜合技術院内
- (72)発明者 朴 晟準
大韓民国京畿道水原市靈通區三星路130 三星綜合技術院内
- (72)発明者 李 相旻
大韓民国京畿道水原市靈通區三星路130 三星綜合技術院内

審査官 岩井 好子

- (56)参考文献 特開2007-281406 (JP, A)
米国特許出願公開第2012/0068154 (US, A1)
特表2014-511189 (JP, A)
米国特許出願公開第2006/0286785 (US, A1)
特開2012-248842 (JP, A)
中国特許出願公開第103000813 (CN, A)
中国特許出願公開第101120433 (CN, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|----------------|--------------|
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/14</i> |
| <i>B 8 2 Y</i> | <i>20/00</i> |
| <i>G 0 9 F</i> | <i>9/30</i> |
| <i>H 0 1 L</i> | <i>27/32</i> |
| <i>H 0 1 L</i> | <i>51/50</i> |
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/02</i> |
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/04</i> |
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/10</i> |
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/20</i> |
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/22</i> |
| <i>H 0 5 B</i> | <i>33/26</i> |
| <i>H 0 1 L</i> | <i>31/10</i> |