

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-125505

(P2018-125505A)

(43) 公開日 平成30年8月9日(2018.8.9)

(51) Int.Cl.

HO 1 L 31/048 (2014.01)

F 1

HO 1 L 31/04

テーマコード (参考)

5 F 151

560

(21) 出願番号 特願2017-19126 (P2017-19126)
(22) 出願日 平成29年2月3日 (2017.2.3)

(出願人による申告) 平成26年度、国立研究開発法人
科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業（個人型研究（さきがけ））「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成／ナノ膜厚ポリマー絶縁膜を利用した全印刷型基板レス有機集積回路の創成」に係る委託業務、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 503359821
国立研究開発法人理化学研究所
埼玉県和光市広沢2番1号

(74) 代理人 110000877
龍華国際特許業務法人

(72) 発明者 福田 憲二郎
埼玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発
法人理化学研究所内

(72) 発明者 染谷 隆夫
埼玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発
法人理化学研究所内

F ターム (参考) 5F151 FA02 FA06 JA03 JA04 JA05

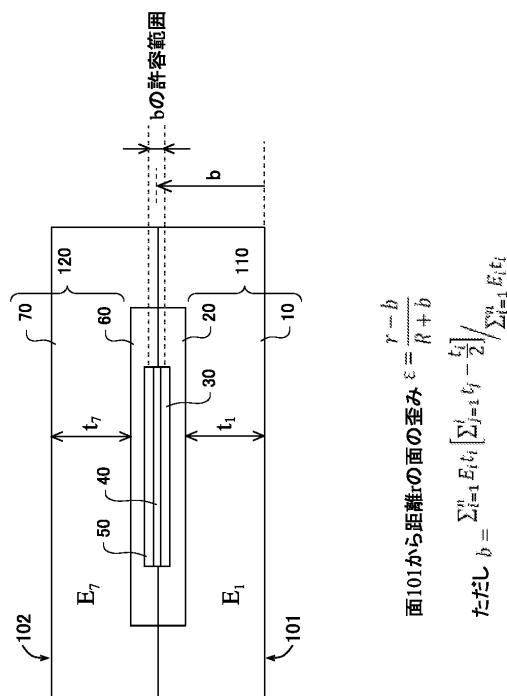
(54) 【発明の名称】 半導体デバイス

(57)【要約】

【課題】半導体デバイスを変形させたときに2つの電極層に加わる歪みの差が大きいと、歪みが大きい方の電極層が破断され易くなる。

【解決手段】半導体デバイスは、弾性を有する第1基材層と、第1基材層上に設けられた第1電極層と、第1電極層上に設けられた半導体層と、半導体層上に設けられた第2電極層と、第2電極層上に設けられ、弾性を有する第2基材層とを備え、半導体デバイスの厚さ方向において、中立面が、厚さ方向において第1電極層の中心と第2電極層の中心との間に位置し、 n は、半導体デバイスが備える層の数を示し、 E_i は、半導体デバイスが備える層のうち、半導体デバイスの一方の側から i 番目の層の弾性率を示し、 t_i 及び t_j は、それぞれ i 番目の層の厚さ及び j 番目の層の厚さを示す。

【選択図】図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体デバイスであつて、
弾性を有する第1基材層と、
前記第1基材層上に設けられた第1電極層と、
前記第1電極層上に設けられた半導体層と、
前記半導体層上に設けられた第2電極層と、
前記第2電極層上に設けられ、弾性を有する第2基材層と
を備え、

前記半導体デバイスの厚さ方向において、前記半導体デバイスの一方の面から距離 b が 10
【数1】

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i t_i \left[\sum_{j=1}^i t_j - \frac{t_i}{2} \right]}{\sum_{i=1}^n E_i t_i}$$

によって表される面が、前記厚さ方向において前記第1電極層の中心と前記第2電極層
の中心との間に位置し、

n は、前記半導体デバイスが備える層の数を示し、
 E_i は、前記半導体デバイスが備える層のうち、前記半導体デバイスの前記一方の面の
側から i 番目の層の弾性率を示し、
 t_i 及び t_j は、それぞれ i 番目の層の厚さ及び j 番目の層の厚さを示す
半導体デバイス。

【請求項 2】

前記第1基材層は、
第1弾性層と、
前記第1弾性層上に設けられた第1フィルム層と
を備え、
前記第1電極層は、前記第1フィルム層上に設けられ、
前記第2基材層は、
前記第2電極層上に設けられた第2フィルム層と、
前記第2フィルム層上に設けられた第2弾性層と
を備える請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項 3】

前記第1弾性層の弾性率を E_1 、厚さを t_1 、前記第2弾性層の弾性率を E_7 、厚さを
 t_7 としたときに、
0.2 t_7 / t_1 5
かつ
0.1 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ 10
を満たす請求項2に記載の半導体デバイス。

【請求項 4】

0.5 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ 2
を満たす請求項3に記載の半導体デバイス。

【請求項 5】

0.8 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ 1.25
を満たす請求項3又は4に記載の半導体デバイス。

【請求項 6】

0.5 t_7 / t_1 2
を満たす請求項3から5のいずれか一項に記載の半導体デバイス。

【請求項 7】

0.8 t_7 / t_1 1.25

10

20

30

40

50

を満たす請求項 3 から 6 のいずれか一項に記載の半導体デバイス。

【請求項 8】

前記第 1 弹性層の厚さを t_1 、前記第 2 弹性層の厚さを t_7 としたときに、 t_1 及び t_7 の少なくとも一方が、 $10 \mu m$ 以上である
請求項 2 から 7 のいずれか一項に記載の半導体デバイス。

【請求項 9】

前記第 1 弹性層の厚さを t_1 、前記第 2 弹性層の厚さを t_7 としたときに、 t_1 及び t_7 の少なくとも一方が、 $50 \mu m$ 以上である
請求項 2 から 8 のいずれか一項に記載の半導体デバイス。

【請求項 10】

前記第 1 弹性層の厚さを t_1 、前記第 2 弹性層の厚さを t_7 としたときに、 t_1 及び t_7 の少なくとも一方が、 $100 \mu m$ 以上である
請求項 2 から 9 のいずれか一項に記載の半導体デバイス。

【請求項 11】

前記第 1 電極層は、透明電極層であり、
前記第 1 基材層は、光透過性を有する
請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の半導体デバイス。

【請求項 12】

前記半導体層は、光電変換層である
請求項 1 1 に記載の半導体デバイス。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

超薄型 ($1 \mu m$) ポリマー箔を基材として試作された、有機トランジスタを有するフレキシブル電子回路が知られている（例えば、非特許文献 1 参照）。

非特許文献 1 Martin Kaltenbrunner, Tsuyoshi Sekitani, Jonathan Reeder, Tomoyuki Yokota, Kazunori Kuribara, Takeyoshi Tokuhara, Michael Drack, Reinhard Schwodauer, Ingrid Graz, Simona Bauer-Gogonea, Siegfried Bauer, Takao Someya, "An ultra-lightweight design for imperceptible plastic electronics", Nature, 499, (7459), 458-463, 2013.

このようなフレキシブル電子回路に、フレキシブルなセンサー類、発電素子、発光素子、二次電池などを組み合わせたフレキシブルシートデバイスが提案されている。この種のシートデバイスでは、軽量かつフレキシブルな特徴を活かし、衣類あるいは体表に直接装着するウエアラブルデバイスとして、人間や動物の体温、脈拍、体水分率、血圧などの健康指標などをモニタリングの上、データ発信もしくは記録し、健康医療に役立てる試みが注目を集めている。ウエアラブルデバイスにおいては、人間あるいは動物の動きに追随し、脱着の際の曲げに耐えて性能等の劣化を引き起こさずに一定期間使用出来ることが求められる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

半導体デバイスにおいて、曲げ変形時などに破損や性能劣化を引き起こしにくい積層構成の工夫が求められている。2つの電極層と当該電極層の間に設けられた半導体層を備える半導体デバイスにおいて、半導体デバイスが変形したときに2つの電極層に加わる歪みの差が大きいと、より大きい歪みが加わる一方の電極層が、他方の電極層より極端に破断し易くなる。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の一態様においては、半導体デバイスは、弾性を有する第1基材層と、第1基材層上に設けられた第1電極層と、第1電極層上に設けられた半導体層と、半導体層上に設けられた第2電極層と、第2電極層上に設けられ、弾性を有する第2基材層とを備える。半導体デバイスの厚さ方向において、半導体デバイスの一方の面から距離bが

【数1】

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i t_i \left[\sum_{j=1}^i t_j - \frac{t_i}{2} \right]}{\sum_{i=1}^n E_i t_i}$$

10

によって表される面が、厚さ方向において第1電極層の中心と第2電極層の中心との間に位置する。nは、半導体デバイスが備える層の数を示し、 E_i は、半導体デバイスが備える層のうち、半導体デバイスの一方の面の側からi番目の層の弾性率を示し、 t_i 及び t_j は、それぞれi番目の層の厚さ及びj番目の層の厚さを示す。

【0005】

第1基材層は、第1弾性層と、第1弾性層上に設けられた第1フィルム層とを備えてよい。第1電極層は、第1フィルム層上に設けられてよい。第2基材層は、第2電極層上に設けられた第2フィルム層と、第2フィルム層上に設けられた第2弾性層とを備えてよい。

20

【0006】

第1弾性層の弾性率を E_1 、厚さを t_1 、第2弾性層の弾性率を E_7 、厚さを t_7 としたときに、 $0.2 t_7 / t_1 = 5$ かつ $0.1 (E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 1$ 0を満たしてよい。

【0007】

第1弾性層の弾性率を E_1 、厚さを t_1 、第2弾性層の弾性率を E_7 、厚さを t_7 としたときに、 $0.5 (E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 2$ を満たすことが好ましい。

【0008】

第1弾性層の弾性率を E_1 、厚さを t_1 、第2弾性層の弾性率を E_7 、厚さを t_7 としたときに、 $0.8 (E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 1.25$ を満たすことがより好ましい。

30

【0009】

第1弾性層の厚さを t_1 、第2弾性層の厚さを t_7 としたときに、 $0.5 t_7 / t_1 = 2$ を満たしてよい。

【0010】

第1弾性層の厚さを t_1 、第2弾性層の厚さを t_7 としたときに、 $0.8 t_7 / t_1 = 1.25$ を満たすことが好ましい。

【0011】

前記 t_1 及び t_7 の少なくとも一方が、 $10 \mu m$ 以上であってよい。

【0012】

前記 t_1 及び t_7 の少なくとも一方が、 $50 \mu m$ 以上であることが好ましい。

40

【0013】

前記 t_1 及び t_7 の少なくとも一方が、 $100 \mu m$ 以上であることがより好ましい。

【0014】

第1電極層は、透明電極層であり、第1弾性層は、光透過性を有してよい。第1電極層は、可視光透過性を有してよい。半導体デバイスが太陽光発電機能や発光機能を有する場合は、可視光帯域における全光線透過率の平均値が60%以上であることが好ましく、70%以上であることがより好ましい。これらを満たす範囲で散乱性を有しても問題無い。

【0015】

半導体層は、光電変換層あるいは電流発光層、電界発光層、有機トランジスタ層あるいは

50

はこれらの組み合わせであってよい。用途に応じて適切な選択と組み合わせが使用される。半導体材料としては、有機半導体材料がフレキシブル性や塗布性などから好適に用いられるが、CIGS、CISなどの化合物半導体材料、あるいはペロブスカイト型化合物材料なども目的に応じて使うことが出来る。

【0016】

上記の発明の概要は、本発明の特徴の全てを列挙したものではない。これらの特徴群のサブコンビネーションも発明となりうる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】太陽電池デバイス100の断面の一例を概略的に示す。

10

【図2】太陽電池デバイス100に生じる歪みを説明するための断面図である。

【図3】 $R = 1$ (μm) である場合における、 t_1 に対する の依存性を示す。

【図4】 $t_1 = 500$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa) の場合における (E_7 / E_1) $\times (t_7 / t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7 / t_1 のパラメータとして表す。

【図5】 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa) の場合における (E_7 / E_1) $\times (t_7 / t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7 / t_1 のパラメータとして表す。

【図6】 $t_1 = 50$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa) の場合における (E_7 / E_1) $\times (t_7 / t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7 / t_1 のパラメータとして表す。

【図7】 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa) の場合における (E_7 / E_1) $\times (t_7 / t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7 / t_1 のパラメータとして表す。

20

【図8】 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 1$ (GPa) の場合における (E_7 / E_1) $\times (t_7 / t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7 / t_1 のパラメータとして表す。

【図9】 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 0.001$ (GPa) の場合における (E_7 / E_1) $\times (t_7 / t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7 / t_1 のパラメータとして表す。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【0019】

図1は、一実施形態における太陽電池デバイス100の断面の一例を概略的に示す。太陽電池デバイス100は、半導体デバイスの一例である。

30

【0020】

太陽電池デバイス100は、第1基材層110と、第1電極層30と、光電変換層40と、第2電極層50と、第2基材層120とを備える。第1電極層30は、第1基材層110上に設けられる。第2基材層120は、第2電極層50上に設けられる。第1基材層110は、第1弹性層10と、第1フィルム層20とを備える。第2基材層120は、第2フィルム層60と、第2弹性層70とを備える。

【0021】

第1基材層110及び第2基材層120は、弹性を有する。第1基材層110は、透光性を有する。第2基材層120は、透光性を有する必要はないが、透光性を有してもよい。

【0022】

太陽電池デバイス100において、第1弹性層10は、太陽電池デバイス100の第1の面101を提供し、第2弹性層70は、太陽電池デバイス100の第2の面102を提供する。第1の面101は、太陽電池デバイス100に光が入射する入射面である。太陽電池デバイス100が備える各層は、第1の面101の側から、第1弹性層10、第1フィルム層20、第1電極層30、光電変換層40、第2電極層50、第2フィルム層60、第2弹性層70の順で設けられる。

【0023】

40

50

第1弹性層10は、透光性を有する。第1弹性層10は、弹性材料で形成される。第1弹性層10は、アクリルゴム、シリコンゴム、ブタジエンゴム、スチレンブタジエンゴム、イソブレンゴム、クロロブレンゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、ウレタンゴム等のゴム材料で形成されたゴム層であってよい。あるいは、ETFE、PVF等の軟質フッ素樹脂材料であってよい。あるいはポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルアルコール等のポリオレフィン類、EVA、EMA等の軟質ポリオレフィン共重合体、ポリスチレン、AS樹脂、ABS樹脂、これらの発泡体、あるいはポリカーボネート、ポリアミド、ポリエステルなどの縮重合樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、ユリア樹脂、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、メタクリル樹脂、不飽和ポリエステル樹脂等の硬化樹脂類であってよい。

10

【0024】

第1弹性層10に関しては、半導体デバイスが太陽光発電機能や発光機能を有する場合は、可視光帯域における全光線透過率の平均値が60%以上であることが好ましく、70%以上であることがより好ましい。これらを満たす範囲で散乱性を有しても問題無い。

【0025】

第1フィルム層20は、第1弹性層10上に設けられる。第1フィルム層20は、透光性を有する。第1フィルム層20は、樹脂材料で形成される。具体的には、第1フィルム層20は、パリレンなどのキシリレン系ポリマー材料、SU-8などのエポキシ樹脂材料、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレートなどのポリエステル系材料、シクロポリオレフィン材料、ポリカーボネート材料、メタクリル樹脂材料、ポリイミド材料、各種フォトレジスト材料等で形成されてよい。これらの中では、透明性や耐熱性、表面平滑性などから光硬化もしくは熱硬化樹脂材料や透明ポリイミド材料が好適に用いられる。あるいは厚さが50μm以下、好ましくは30μm以下、最も好ましくは10μm以下のフレキシブルガラス基板等により形成されても良い。このフレキシブルガラス基板においては、破損防止のため両面に微小クラックを平滑化する樹脂コーティングを施したものが好適に用いられる。第1フィルム層20は、太陽電池デバイス100の製造時において第1電極層30を形成するための基材として用いられてよい。

20

【0026】

第1電極層30は、第1フィルム層20上に設けられる。第1電極層30は、透光性を有する。具体的には、第1電極層30は、可視光透過性を有する。可視光帯域における第1電極層30の全光線透過率の平均値は60%以上であることが好ましく、70%以上であることがより好ましい。第1電極層30は、全光線透過率がこれらの値を満たす範囲で光散乱性を有してもよい。第1電極層30は、例えば透明電極層である。第1電極層30は、酸化スズインジウム(ITO)、酸化ニッケル、酸化スズ、酸化インジウム、インジウム-ジルコニウム酸化物(IZO)、酸化チタン、酸化亜鉛等の、金属酸化物等で形成されてよい。あるいはアルミニウムや銀の薄膜化して透光性を持たせたもの、あるいはPEDOT:PSS等の透光性のある有機導電材料、あるいはこれらの組み合わせ、あるいはアルミ、金、銀、銅などの細線により構成補助電極と組み合わされたものであってよい。

30

【0027】

第1電極層30は、電極としてのメッシュ構造を有する金属を透光性材料で保持した金属メッシュ層であってよい。当該メッシュ構造は、銀、金、銅等で形成されてよい。第1電極層30は、電極としての金属ナノワイヤを透光性材料で保持した金属ナノワイヤ層であってよい。第1電極層30として金属メッシュ層又は金属ナノワイヤ層を適用する場合、電極部分は透光性を有しなくてよく、透光性材料で形成された部分が光を透過することによって、第1電極層30が全体として透光性を有してよい。第1電極層30は、導電性高分子で形成されてよい。

40

【0028】

光電変換層40は、第1電極層30上に設けられる。光電変換層40は、複数の光電変換素子を有する。具体的には、光電変換層40は、薄膜単結晶シリコン、薄膜多結晶シリ

50

コン、薄膜微結晶シリコン、アモルファスシリコン、ペロブスカイト型化合物、その他の無機半導体材料、色素材料からなる層であってよい。また光電変換層40は、有機半導体材料からなる層であってよい。有機半導体材料は、n型有機半導体及びp型有機半導体がバルクヘテロ接合された混合層であってよい。n型有機半導体としては、フラーレン、フラーレン誘導体、カーボン・ナノチューブなどの炭素材料、種々の縮合芳香族炭化水素、ペリレン類、シアノキノジメタン類、PBDなどのオキザジアゾール誘導体、BSA-1などのスチリルアントラセン誘導体、バソクプロイン、ベンゾキノリノールベリリウム錯体、ベンゾチアゾール亜鉛錯体等が挙げられる。p型有機半導体としては、ペンタセン類、ルブレン類、チオフェン類等の縮合芳香族炭化水素、ポルフィリン類、フタロシアニン類、ジアミン誘導体、TPDなどのアミン誘導体が挙げられる。光電変換層40は、半導体層の一例である。光電変換層40と第1電極層30、第2電極層50との間には、効率向上や短絡防止などを目的として必要に応じて正孔輸送層、正孔注入層、電子輸送層、電子ブロック層などを介在させても良い。

10

【0029】

第2電極層50は、光電変換層40上に設けられる。第2電極層50は、太陽電池デバイス100における裏面電極層である。例えば、第2電極層50は、金、銀、アルミニウム等の金属膜である。第2電極層50は、透光性を有しなくてよい。

20

【0030】

第2フィルム層60は、第2電極層50上に設けられる。第2フィルム層60は、段落0025において第1フィルム層20を構成する材料として例示されている材料で形成されてよい。第2フィルム層60を構成する材料は、第1フィルム層20を構成する材料と同じであってもよいし、異なっていても良い。本実施形態において、第2フィルム層60と第1フィルム層20は、パリレンで形成される。第2フィルム層60は、第1電極層30、光電変換層40及び第2電極層50を封止するための封止材としての機能を有してよい。あるいはエポキシ樹脂、アクリル樹脂、メタクリル樹脂などの光硬化性あるいは熱硬化性樹脂により形成しても良い。第2フィルム層60の厚さとしては、第1フィルム層20の厚さと同等もしくはそれ以下であることがフレキシブル性、デバイス製作時のハンドリング性から好ましい。

20

【0031】

第2弾性層70は、第2フィルム層60上に設けられる。第2弾性層70は、第1弾性層10と同じ材料で形成されてよい。具体的には、第2弾性層70は、アクリルゴム等のゴム材料で形成された弾性層である。シリコンゴム、ブタジエンゴム、スチレンブタジエンゴム、イソブレンゴム、クロロブレンゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、ウレタンゴム等のゴム材料で形成されたゴム層であってよい。あるいは、ETFE、PVF等の軟質フッ素樹脂材料であってよい。あるいはポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルアルコール等のポリオレフィン類、EVA、EMA等の軟質ポリオレフィン共重合体、ポリスチレン、AS樹脂、ABS樹脂、これらの発泡体、あるいはポリカーボネート、ポリアミド、ポリエステルなどの縮重合樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、ユリア樹脂、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、メタクリル樹脂、不飽和ポリエステル樹脂等の硬化樹脂類であってよい。これらには強度や機能の要求から粒状あるいは纖維状のフィラーが分散されていても良い。フィラー材料としてはシリカ、カーボン、カーボンナノチューブ、ガラス、セルロースナノファイバーなどを用いることが出来る。あるいは第2弾性ゴム層の表面には正反射防止や密着防止、デザイン性などの観点よりエンボス加工や凹凸コーティングなどを施しても良い。

30

【0032】

このように、太陽電池デバイス100は、第1電極層30及び第2電極層50の間に光電変換層40が設けられた積層型の半導体素子構造を持つ。後述するように、太陽電池デバイス100は、太陽電池デバイス100の中立面が、第1弾性層10と第1フィルム層20との間に位置するように、当該積層型の半導素子を第1基材層110及び第2基材層120で挟んだ構造を有する。これにより、太陽電池デバイス100が変形した場合に第

40

50

1電極層30に加わる歪みと第2電極層50に加わる歪みの差を小さくすることができる。これにより、一方の電極層に加わる歪みが他方の電極層に加わる歪みに比べて極端に大きくなることを抑制することができる。したがって、太陽電池デバイス100の変形に対する耐性を高めることができる。

【0033】

一使用形態において、太陽電池デバイス100は、変形可能な素材上に設けられる。当該素材としては、例えば、衣類、ゴム材等を例示できる。あるいは人間や動物の表皮に直接装着し、太陽電池による自立電源とセンサーとを組み合わせて血圧、温度、湿度などをモニタリングすることも出来る。多様な用途や素材に太陽電池デバイス100を適用可能とするためには、太陽電池デバイス100は極めて高い伸縮性や曲げ変形を有する必要がある。曲げ変形に耐えれば、表裏交互に曲げた折り畳み状デバイスとして、曲げ部分を伸ばしたり、さらに曲げることにより伸縮変形に耐える設計とすることもできる。曲げ部分の曲率半径を小さく設定出来れば、それだけ曲げ耐久性が強いことになり、また折り畳みの形状自由度が高くなり、実用性が向上する。太陽電池デバイス100が曲率半径1μmの曲げに耐性を有することを目的の一つに設定して、一実施例における太陽電池デバイス100の各層が備えるべき特性を説明する。

【0034】

図2は、太陽電池デバイス100に生じる歪みを説明するための断面図である。太陽電池デバイス100は、7個の層を備える。本実施形態において、太陽電池デバイス100が備える各層の弾性率E及び厚さtを、各層を識別する自然数iを添え字に用いて表す。具体的には、太陽電池デバイス100において第1の面101の側の層である第1弾性層10を1番目の層として、第1弾性層10から数えてi番目の層の弾性率をE_iで表す。また、第1弾性層10から数えてi番目の層の厚さをt_iで表す。また、iとは独立して層の厚さを特定する場合に、jを自然数として、第1弾性層10から数えてj番目の層の厚さをt_jで表す。なお、本実施形態における弾性率は、縦弾性率である。本実施形態における弾性率は、曲げ試験で測定された縦弾性率であるとしてよい。

【0035】

太陽電池デバイス100において、第1の面101から距離rだけ離れた面の歪みは、次式で表される。

【数2】

$$\epsilon = \frac{r - b}{R + b}$$

【0036】

ここで、Rは、太陽電池デバイス100の曲率半径である。bは、第1の面101から中立面までの距離を表す。bは、次式で表される。

【数3】

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i t_i \left[\sum_{j=1}^i t_j - \frac{t_i}{2} \right]}{\sum_{i=1}^n E_i t_i}$$

【0037】

ここで、nは、太陽電池デバイス100が備える層の数を示す。上述したように、E_iは、第1の面101からi番目の層の弾性率を示す。t_i及びt_jは、それぞれi番目の層の厚さ及びj番目の層の厚さを示す。

【0038】

太陽電池デバイス100において、中立面は、厚さ方向において第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に位置する。具体的には、中立面が、厚さ方向において第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に位置するように、第1弾性層10の厚さt₁及び弾性率E₁と、第2弾性層70の厚さt₂及び弾性率E₇とが定められてい

10

20

30

40

50

る。

【0039】

表1は、後述する太陽電池デバイス100の実施例において用いられるパラメータを示す。各実施例は、 t_7 及び弾性率 E_7 と、 t_1 及び弾性率 E_1 によって特徴付けられる。

【表1】

層	t (μm)	E (GPa)
7	t_7	E_7
6	1.0	4
5	0.1	83
4	0.3	1
3	0.1	116
2	1.0	4
1	t_1	E_1

10

【0040】

各実施例において、第1フィルム層20及び第2フィルム層60は、パリレンにより形成されているとしてよい。第2電極層50は、銀で形成されているとしてよい。

【0041】

図3は、 $R = 1$ (μm)である場合における、 t_1 に対するの依存性を示す。ただし、 $t_7 = t_1$ である。なお、は、第1電極層30が有する2つの面のうち、第1フィルム層20側の面における歪みである。

20

【0042】

図3に示されるように、 t_1 を10 μm 以上にすることにより、を約1%以下にすることができる。よって、 t_1 が10 μm 以上であることが好ましい。また、 t_1 を50 μm 以上にすることにより、を約0.25%以下にすることができる。よって、 t_1 が50 μm 以上であることがより好ましい。また、 t_1 を100 μm 以上にすることにより、を約0.1%以下にすることができる。よって、 t_1 が100 μm 以上であることが特に好ましい。

【0043】

なお、 t_1 及び t_7 が10 μm 以上であることが好ましく、 t_1 及び t_7 が50 μm 以上であることがより好ましく、 t_1 及び t_7 が100 μm 以上であることが特に好ましい。しかし、 t_1 及び t_7 の一方が10 μm 以上であってよく、 t_1 及び t_7 の一方が50 μm 以上であってよく、 t_1 及び t_7 の一方が100 μm 以上であってよい。

30

【0044】

次に、図4から図9等に関連して説明するように、第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に中立面を位置させるために、 t_1 、 E_1 、 t_7 及び E_7 を、 t_7/t_1 及び $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の2つのパラメータにより条件付けることが好ましい。図4から図9において、 t_1 及び E_1 を特定の値とした場合において、第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に中立面を位置させるために $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ が取り得る上限値及び下限値を、 t_7/t_1 をパラメータとして表す。

40

【0045】

図4は、 $t_1 = 500$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa)の場合における $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7/t_1 のパラメータとして表す。

【0046】

図4の「MAX」側の線は、中立面が第2電極層50の中心と一致する場合を示し、図4の「MIN」側の線は、中立面が第1電極層30の中心と一致する場合を示す。すなわち、図4の「MAX」側の線は、第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に中立面を位置させるための $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値を示す。また、図

50

4の「MIN」側の線は、第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に中立面を位置させるための $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の下限値を示す。なお、図5から図9における「MAX」及び「MIN」の意味は、図4における「MAX」及び「MIN」の意味と同じである。

【0047】

図5は、 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa)の場合における $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7/t_1 のパラメータとして表す。図6は、 $t_1 = 50$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa)の場合における $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7/t_1 のパラメータとして表す。図7は、 $t_1 = 10$ (μm)、 $E_1 = 0.01$ (GPa)の場合における $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7/t_1 のパラメータとして表す。
10

【0048】

図8は、 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 1$ (GPa)の場合における、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7/t_1 のパラメータとして表す。図9は、 $t_1 = 100$ (μm)、 $E_1 = 0.001$ (GPa)の場合における、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を、 t_7/t_1 のパラメータとして表す。

【0049】

ここで、 t_7/t_1 の好ましい範囲について説明する。図4から図9より、 $t_7/t_1 = 0.2$ を満たす場合には、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値は、 t_7/t_1 に対する依存性が小さくなり、概して定数とみなしえることが分かる。これにより、 $t_7/t_1 = 0.2$ を満たされている限り、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ が当該上限値の定数と当該下限値の定数との間になるように t_1 、 E_1 及び t_7 、 E_7 を定めれば、中立面を第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に位置させることができる。よって、 $t_7/t_1 = 0.2$ を満たすことが好ましい。なお、太陽電池デバイス100は、光電変換層40に対して略対称の構造を有するので、 $t_1/t_7 = 0.2$ を満たすことが好ましい。よって、 $0.2 \leq t_7/t_1 \leq 5$ を満たすことが好ましい。
20

【0050】

また、図4から図9より、 $t_7/t_1 = 0.5$ を満たす場合には、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値は、 t_7/t_1 に対する依存性がより小さくなる。よって、 $t_7/t_1 = 0.5$ を満たす場合、当該上限値及び下限値は、より小さい誤差で定数とみなしえることが分かる。よって、 $t_7/t_1 = 0.5$ を満たすことがより好ましい。太陽電池デバイス100が光電変換層40に対して略対称の構造を有することを考慮して、 $0.5 \leq t_7/t_1 \leq 2$ を満たすことがより好ましい。
30

【0051】

また、図4から図9より、 $t_7/t_1 = 0.8$ を満たす場合には、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値は、 t_7/t_1 に対する依存性が特に小さくなる。よって、 $t_7/t_1 = 0.8$ を満たす場合、当該上限値及び下限値は実質的に定数とみなしえることが分かる。よって、 $t_7/t_1 = 0.8$ を満たすことが特に好ましい。太陽電池デバイス100が光電変換層40に対して略対称の構造を有することを考慮して、 $0.8 \leq t_7/t_1 \leq 1.25$ を満たすことが特に好ましい。
40

【0052】

以上において t_7/t_1 の好ましい範囲について検討したように、 $0.2 \leq t_7/t_1 \leq 5$ を満たすことが好ましい。 $0.5 \leq t_7/t_1 \leq 2$ を満たすことがより好ましい。 $0.8 \leq t_7/t_1 \leq 1.25$ を満たすことが特に好ましい。パラメータ t_7/t_1 が当該好ましい範囲を満たすように t_1 及び t_7 を定めることで、第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に中立面を位置させるために必要な $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を定数とみなしえるようになることができる。なお、本実施形態の説明において、 $(E_7/E_1) \times (t_7/t_1)^2$ の上限値及び下限値を定数とみなしえる場合、それらを、それぞれ「上限値の定数値」及び「下限値の定数値」と呼ぶ場合がある。
50

【0053】

次に、 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ の望ましい範囲について説明する。上述したように、曲率半径 $R = 1$ (μm) の場合にを約1%以下にするためには、 $t_1 = 10$ (μm) を満たすことが好ましい。 $t_1 = 10$ (μm) の場合の図7を参照すると、0.1 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 10$ を満たすように t_1 、 E_1 及び t_7 、 E_7 を定めれば、中立面を第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に位置させることができることが分かる。また、図4、5、6、8及び図9を参照して、 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ の下限値の定数値と上限値の定数値との間の範囲は、0.1以上10以下の範囲に含まれる。よって、少なくとも、0.1 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 10$ を満たすようにすることが好ましい。

10

【0054】

また、0.5 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 2$ を満たすことがより好ましい。図9の実施例のように第1弾性層10及び第2弾性層70を柔らかい材料で形成した場合において、0.5 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 2$ の範囲は、 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)$ の下限値の定数値と上限値の定数値との間の範囲に収まる。すなわち、0.5 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 2$ を満たす場合、第1弾性層10及び第2弾性層70を柔らかい材料で形成したときにおいて、中立面を第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に位置させることができる。よって、0.5 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 2$ を満たす場合、第1弾性層10及び第2弾性層70を柔らかい材料を用いることで曲面への追従性が損われることを抑制しつつ、太陽電池デバイス100の変形時に第1電極層30及び第2電極層50に加わる歪みに差が生じにくくすることができる。

20

【0055】

また、0.8 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 1.25$ を満たすことが特に好ましい。この条件を満たすことで、 t_1 、 E_1 、 t_7 及び E_7 の選択肢をより広げることができる。

【0056】

以上において $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ の好ましい範囲について検討したよう、0.1 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 10$ を満たすことが好ましい。0.5 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 2$ を満たすことがより好ましい。0.8 $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2 = 1.25$ を満たすことが特に好ましい。パラメータ $(E_7 / E_1) \times (t_7 / t_1)^2$ が上述した好ましい範囲を満たすように定めることで、第1電極層30の中心と第2電極層50の中心との間に中立面を位置させることができ、第1電極層30及び第2電極層50に加わる歪みに差が生じにくくすることができる。

30

【0057】

以上において、第1弾性層10のパラメータ t_1 及び E_1 と、第2弾性層70のパラメータ t_7 及び E_7 に関する条件を説明した。第1フィルム層20の厚さ t_2 について、凹凸面の追従性、易接着性の観点からは、少なくとも $t_2 = 30 \mu m$ であることが好ましい。追従性、易接着性をより高めるために、 $t_2 = 10 \mu m$ であることがより好ましい。追従性、易接着性を更に高めるために、 $t_2 = 2 \mu m$ であることが特に好ましい。

40

【0058】

太陽電池デバイス100において、第1弾性層10を形成する材料は、ゴムやポリマー材料に限られない。第1弾性層10を形成する材料は、ガラスであってよい。同様に、第2弾性層70を形成する材料は、ゴムやポリマー材料に限られない。第2弾性層70を形成する材料は、ガラスであってよい。

【0059】

太陽電池デバイス100において、第2基材層120は、第2フィルム層60及び第2弾性層70を備える。第2基材層120は、第2フィルム層60を備えなくてよい。第2基材層120は、第1弾性層10のみを備えてよい。

【0060】

50

太陽電池デバイス100において、第1基材層110は第1弹性層10及び第1フィルム層20を備え、第2基材層120は第2フィルム層60及び第2弹性層70を備える。しかし、第1基材層110及び第2基材層120の少なくとも一方は、単一の材料で形成された単一の層であってよい。

【0061】

以上の説明において、半導体デバイスの一例を、太陽電池デバイス100を取り上げて説明した。半導体デバイスは、太陽電池デバイスに限られない。半導体デバイスは、発光デバイスであってよい。例えば、上述した光電変換層40に代えて、半導体層として発光層を適用してよい。発光層は、有機発光ダイオード、発光ポリマー等を含んでよい。半導体層は、光電変換層及び発光層の両方を含んでよい。半導体層は、電流発光層、電界発光層、有機トランジスタ層あるいはこれらの組み合わせであってよい。なお、半導体層は、光電変換層や発光層に限定されない。半導体層は、光電変換機能及び発光機能とは異なる、様々な機能を持つ有機半導体を含んでよい。半導体層は、有機材料、酸化物材料、アモルファスシリコン等の半導体材料を用いて形成されてよい。半導体層を形成する材料としては、有機半導体材料がフレキシブル性や塗布性などから好適に用いられるが、CIGS、CISなどの化合物半導体材料、あるいはペロブスカイト化合物材料なども目的に応じて使うことができる。半導体デバイスは、電界効果トランジスタ、集積回路等であってよい。センサー類とその検出回路、あるいは二次電池を含むものであってよい。半導体デバイスは、発電デバイス、照明デバイス、表示デバイス、電子ペーパー、蓄電デバイス、シート型センサーデバイスあるいはこれらの組み合わせたものであってよい。

10

20

30

40

【0062】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

【0063】

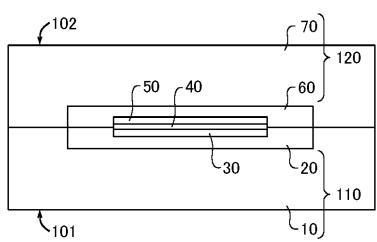
特許請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。特許請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

【符号の説明】

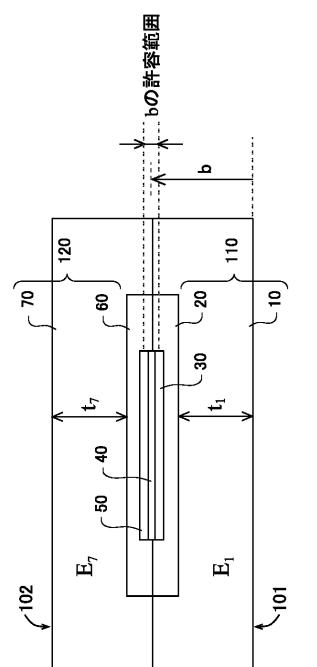
【0064】

- 100 太陽電池デバイス
- 10 第1弹性層
- 20 第1フィルム層
- 30 第1電極層
- 40 光電変換層
- 50 第2電極層
- 60 第2フィルム層
- 70 第2弹性層
- 101 第1の面
- 102 第2の面
- 110 第1基材層
- 120 第2基材層

【図1】



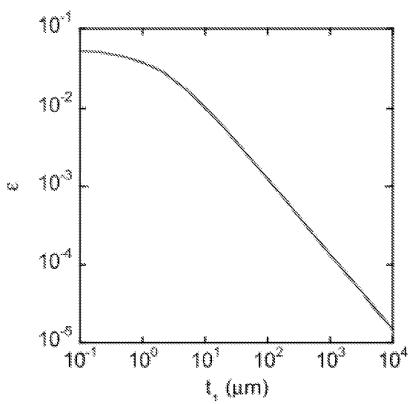
【図2】



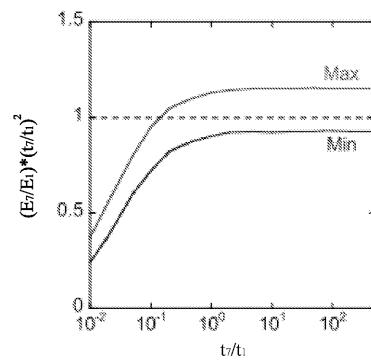
$$\text{面101から距離の面の歪み } \varepsilon = \frac{r - b}{R + b}$$

$$\text{ただし } b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i t_i \left[\sum_{j=i}^n t_j - \frac{t_i}{2} \right]}{\sum_{i=1}^n E_i t_i}$$

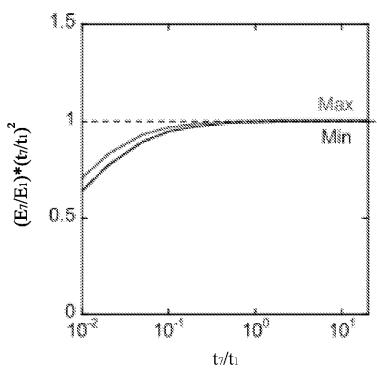
【図3】



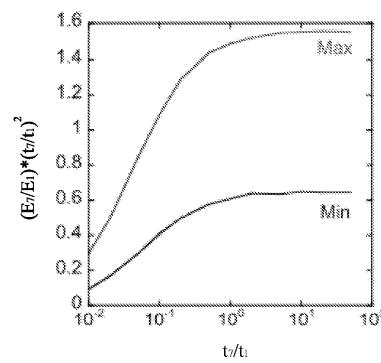
【図5】



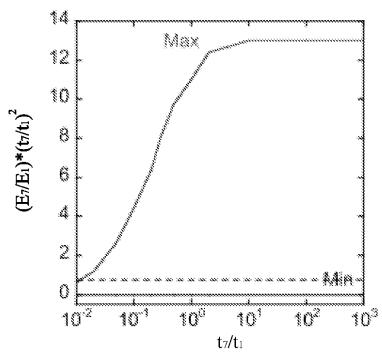
【図4】



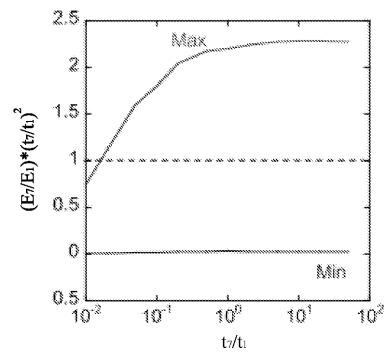
【図6】



【図7】



【図9】



【図8】

