

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4690379号
(P4690379)

(45) 発行日 平成23年6月1日(2011.6.1)

(24) 登録日 平成23年2月25日(2011.2.25)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)

GO 2 B 21/00 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 2 5 P

GO 2 B 21/00

HO 1 L 21/30 5 3 1 J

請求項の数 6 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2007-285276 (P2007-285276)	(73) 特許権者	596180076
(22) 出願日	平成19年11月1日 (2007.11.1)		韓国電子通信研究院
(65) 公開番号	特開2008-147629 (P2008-147629A)		Electronics and Tel
(43) 公開日	平成20年6月26日 (2008.6.26)		ecommunications Res
審査請求日	平成19年11月1日 (2007.11.1)		earch Institute
(31) 優先権主張番号	10-2006-0122347		大韓民国大田廣域市儒城區柯亭洞161
(32) 優先日	平成18年12月5日 (2006.12.5)		161 Kajong-dong, Yu
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		song-gu, Taejon kor
(31) 優先権主張番号	10-2007-0061460		ea
(32) 優先日	平成19年6月22日 (2007.6.22)		
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏光板と高速フーリエ変換を用いたナノ線感知用光学顕微鏡システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源から発せられる光をナノ線素子用試料に提供する光源部と、
該光源部から提供された前記光の経路上に設けられ、前記光を偏光させる回転偏光板と、
該回転偏光板に電氣的に連結されて該回転偏光板を第1周波数（ f_0 ）で回転させる偏光板制御機と、
前記ナノ線素子用試料から反射される光を検出する光学顕微鏡と、
該光学顕微鏡に設けられ、前記回転偏光板が回転する間、前記光学顕微鏡によって検出された光を撮影した映像データを貯蔵するCCDカメラと、
前記映像データのピクセルに含まれた光の強さ情報を高速フーリエ変換処理して前記映像データのピクセルのうち第2周波数（ $2f_0$ ）を有するピクセルを抽出することにより、前記ナノ線素子用試料に含まれたナノ線の映像を得るデータ処理部と
を備えたことを特徴とするナノ線感知用光学顕微鏡システム。

【請求項 2】

前記ナノ線は、前記ナノ線の形成方向と前記ナノ線に入射された光の偏光軸間の角度に応じて異なるように発光する光学的異方性を有することを特徴とする請求項1に記載のナノ線感知用光学顕微鏡システム。

【請求項 3】

前記偏光板制御機は、前記回転偏光板を0.1～1Hzの前記第1周波数（ f_0 ）で回

転するように制御することを特徴とする請求項1に記載のナノ線感知用光学顕微鏡システム。

【請求項4】

前記回転偏光板の回転により、前記ナノ線素子用試料に入射される光の偏光軸が前記第2周波数（ $2f_0$ ）に変調されることを特徴とする請求項3に記載のナノ線感知用光学顕微鏡システム。

【請求項5】

前記偏光軸が前記第2周波数（ $2f_0$ ）で回転された光が前記ナノ線素子用試料に入射されれば、前記ナノ線から反射された光の強さは、前記第2周波数（ $2f_0$ ）に変調されることを特徴とする請求項4に記載のナノ線感知用光学顕微鏡システム。

10

【請求項6】

前記CCDカメラによって撮影された映像データは、時間によってピクセル配列で貯蔵され、前記データ処理部は、各ピクセルの時間別光強さ情報（ $I(n, m)_1$ ）を高速フーリエ変換して前記第2周波数（ $2f_0$ ）に対応する複素数フーリエ係数（ $(2f_0)n, m$ ）を選択することで、前記ナノ線の映像を得ることを特徴とする請求項1に記載のナノ線感知用光学顕微鏡システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光板と高速フーリエ変換を用いたナノ線感知用光学顕微鏡システムに関し、より詳細には、ナノ線素子用試料とパターンとのアラインを容易にするために既存の光学顕微鏡システムを用いてナノ線を感知するナノ線感知用光学顕微鏡システムに関する。

20

【0002】

本発明は、情報通信部及び情報通信研究振興院のIT新成長動力核心技術開発事業として行った研究から導出された。[課題固有番号：2006-S-006-01，課題名：ユビキタス端末用部品モジュール。]

【背景技術】

【0003】

ナノ線を利用した電子素子を製作する工程には、必ずフォトリソグラフィー（photolithography）工程が必要である。特に、電子素子を製作するための構造物をパターンングするためには、基本的にフォトリソグラフィー工程のうち、試料とパターンとを整列（align）するために試料映像を獲得する技術が必要である。

30

【0004】

ナノ線電子素子の製作に使われるナノ線の一般的な直径は、数ナノメートル乃至数十ナノメートルであり、その長さは、数十ナノメートル乃至数マイクロメートルあるいは数十マイクロメートルである。直径が数十ナノメートル以上であり、長さが数マイクロメートルである比較的太くて長いナノ線を用いて電子素子を製作する場合には、試料の映像を一般光学顕微鏡で獲得することができるので、既存の半導体工程装備を使用して試料とパターンとの整列作業を行うことができる。

【0005】

40

しかしながら、直径が0～20ナノメートル（特に、10nm未満又は10～20nm）である薄いナノ線を用いて電子素子を製作する場合には、既存の光学顕微鏡を使用してナノ線の映像を獲得することが容易ではない。また、厚さが数ナノメートル程度である単一の炭素ナノチューブ（single wall carbon nanotube）を用いて電子素子を製作する場合にも、やはり光学顕微鏡を使用してナノ線の映像を獲得することが容易ではない。

【0006】

したがって、上述した問題点を解決するために、直径が細いナノ線又は炭素ナノチューブを用いて電子素子を製作する場合には、アライン工程に必要な試料の映像を得るために、光学顕微鏡の代わりに、分解能に優れていて、試料の映像を明確に得ることができる原

50

子顕微鏡（A F M : A t o m i c F o r c e M i c r o s c o p e）又は電子顕微鏡（S E M : S c a n n i n g E l e c t r o n M i c r o s c o p e）のような高分解能顕微鏡が使われている。

【0007】

しかし、上述した高分解能顕微鏡を使用する場合には、試料の映像を獲得するのに光学顕微鏡に比べて相対的に多くの時間がかかり、工程費用も高いため、商用化が容易でない。特に、大面積のナノ線素子を製作して商用化することが容易でないという短所がある。

【0008】

【特許文献1】米国特許公開第2003-0189202号明細書

【特許文献2】米国特許公開第 2004-0136866号明細書

10

【非特許文献1】P r o c . S P I E , 2004, p. 1500-p. 1507

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、既存の半導体素子製造工程に使われる光学顕微鏡をそのまま使用して直径の細いナノ線又は炭素ナノチューブの映像を獲得することができるナノ線感知用光学顕微鏡システムを提供ことにある。

【0010】

また、本発明の他の目的は、光学顕微鏡を用いてナノ素子用線試料とパターンとのアラインを可能にすることで、製作工程時間を短縮することができ、工程費用を節減できるナノ線感知用光学顕微鏡システムを提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、このような目的を達成するためになされたもので、光源から発せられる光をナノ線素子用試料に提供する光源部と、該光源部から提供された前記光の経路上に設けられ、前記光を偏光させる回転偏光板と、該回転偏光板に電氣的に連結されて該回転偏光板を第1周波数（ f_0 ）で回転させる偏光板制御機と、前記ナノ線素子用試料から反射される光を検出する光学顕微鏡と、該光学顕微鏡に設けられ、前記回転偏光板が回転する間、前記光学顕微鏡によって検出された光を撮影した映像データを貯蔵するCCDカメラと、前記映像データのピクセルに含まれた光の強さ情報を高速フーリエ変換処理して前記映像データのピクセルのうち第2周波数（ $2f_0$ ）を有するピクセルを抽出することにより、前記ナノ線素子用試料に含まれたナノ線の映像を得るデータ処理部とを備えたことを特徴とする。

30

【0013】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記ナノ線は、前記ナノ線の形成方向と前記ナノ線に入射された光の偏光軸間の角度に応じて異なるように発光する光学的異方性を有することを特徴とする。

【0014】

また、請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記偏光板制御機は、前記回転偏光板を0.1～1Hzの前記第1周波数（ f_0 ）で回転するように制御することを特徴とする。

40

【0015】

また、請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の発明において、前記回転偏光板の回転により、前記ナノ線素子用試料に入射される光の偏光軸が前記第2周波数（ $2f_0$ ）に変調されることを特徴とする。

また、請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の発明において、前記偏光軸が前記第2周波数（ $2f_0$ ）で回転された光が前記ナノ線素子用試料に入射されれば、前記ナノ線から反射された光の強さは、前記第2周波数（ $2f_0$ ）に変調されることを特徴とする。

【0016】

50

また、請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記 CCD カメラによって撮影された映像データは、時間によってピクセル配列で貯蔵され、前記データ処理部は、各ピクセルの時間別光強度情報 ($I(n, m)_t$) を高速フーリエ変換して前記第 2 周波数 ($2f_0$) に対応する複素数フーリエ係数 ($(2f_0)n, m$) を選択することで、前記ナノ線の映像を得ることを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、直径が 0～20 nm であるナノ線又は 0～10 nm の厚さを有す炭素ナノチューブを利用した電子素子を製作する時、既存に使用する光学顕微鏡を使用することによって、工程時間を短縮することができ、製造費用を節減することができる。

10

【0018】

また、既存の半導体素子工程で使用する光学顕微鏡を活用することができるので、工程連係性に優れているので、大面積ナノ線又は炭素ナノチューブを利用した電子素子工程が可能である。

【0019】

さらに、高価の電子顕微鏡（又は原子顕微鏡）に代わって、光学顕微鏡を使用してナノ線の映像を得ることができるので、ナノ線研究の活性化に寄与することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

20

図 1 は、本発明に係るナノ線感知用光学顕微鏡システムの一実施例を説明するための模式図である。本発明に係るナノ線感知用光学顕微鏡システム 1 は、光源が入射される光源部 10 と、ナノ線素子用試料（不図示）に到達されて反射された光源の映像を撮影する CCD (Charge Coupled Device) カメラ 31 を備えた光学顕微鏡 30 と、これらの間に設けられた回転偏光板 20 とを備え、光源部 10 から入射された光源によりナノ線素子用試料に到達され、CCD カメラ 31 を介して獲得された試料の光学映像（データ）を高速フーリエ変換処理する映像処理技術を利用する。

【0021】

図 1 を参照して、本発明のナノ線感知用光学顕微鏡システム 1 をさらに具体的に説明する。ナノ線感知用光学顕微鏡システム 1 は、光源を入射する光源部 (light source) 10 と、光源部 10 から入射された光源を特定の方向に偏光する回転可能な回転偏光板 (rotational polarizer) 20 と、回転偏光板 20 に電氣的に連結され、回転偏光板 20 の回転を制御する偏光板制御機 (polarizer controller) 40 と、回転偏光板 20 を通過してナノ線素子用試料に入射されて反射された光を用いてナノ線の光学映像を検出する光学顕微鏡 (optical microscope) 30 と、光学顕微鏡 30 の一方の領域に設けられ、ナノ線の光学映像を撮影し、撮影された映像データを貯蔵する CCD カメラ 31 と、CCD カメラ 31 を介して得られたナノ線の映像データを高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform: FFT) 方法を用いて高速フーリエ変換するデータ処理部 50 とを備えている。

30

40

【0022】

より具体的に、光源部 10 は、白色光を発生させてナノ素子用試料に提供する。回転偏光板 20 は、光学的異性質体が方向によって偏光された透過光の色が異なるという事実を用いて偏光性質を得る装置であって、光源部 10 から提供された白色光を偏光させる。回転偏光板 20 を通過した光は、特定の方向に偏光される。偏光された光がナノ線に入射されれば、大部分のナノ線がナノ線の形成方向と偏光軸との角度によって異なるように発光する光学的異方性を示す。ナノ線の形成方向と偏光軸とが整列され、両者間の角度が 0 度である場合には、最大に発光し、反対に 90 度である場合には、最小に発光する特性を示す。このようなナノ線の光学的異方性を利用することによって、本発明に係る高解像度のナノ線感知用光学顕微鏡システムが実現される。

50

【0023】

本実施例では、偏光板制御機40を用いて回転偏光板20を回転制御する。偏光板制御機40は、光源部10と光学顕微鏡30との間に設置された回転偏光板20を0.1Hz～1Hz範囲の周波数 f_0 で回転するように制御する。一般的に、光学顕微鏡30は、光源部10から提供された光源を用いてナノ線素子用試料のナノ線を検出することができ、光学顕微鏡30に設けられたCCDカメラ31は、回転偏光板20を通過し、ナノ線素子用試料で反射された光源を撮影する。

【0024】

本実施例では、CCDカメラ31の位置が接眼レンズの上部に形成されているが、これとは異なって、接眼レンズの下部はもちろん、光学顕微鏡30の他方の領域に設置することができ、外部で遠隔調整が可能に設置する。CCDカメラ31を介して得たナノ線素子用試料の映像データは、一定の時間間隔で貯蔵され、前記映像データが前記データを処理するデータ処理部50に貯蔵され得るように、CCDカメラ31を遠隔調整する。データ処理部50は、CCDカメラ31を介して撮影された映像データを、高速フーリエ変換を用いてノイズを除去することによって、10～20ナノメートル範囲の直径の小さいナノ線又は数ナノメートルの炭素ナノチューブの試料の映像を得ることができる。

【0025】

上述したナノ線感知用光学顕微鏡システム1によれば、偏光板制御機40が回転偏光板20を0.1Hz乃至1Hzの特定周波数 f_0 で回転するように制御することによって、ナノ線素子用試料に入射される線偏光された光源の偏光軸が $2f_0$ の周波数に回転する。これにより、ナノ線の軸と偏光軸とがなす角度が $2f_0$ の周波数に変わり、ナノ線で反射される光の強さも $2f_0$ の周波数に変調される。

【0026】

この反面、ナノ線周辺の試料は、一般的に光学的異方性がないか小さいため、周辺の試料を介して反射される光の強さのうち $2f_0$ の周波数に変調される成分がナノ線に比べて相対的に非常に小さい。その結果として、ナノ線に該当する特定の周波数 $2f_0$ に変調される信号を選択的に得る場合、ナノ線がない周辺領域の信号が除去されるので、ナノ線の映像を一層明確に得ることができる。

【0027】

上述したようなナノ線映像の獲得方法は、特定の周波数信号が雑音の多い他の環境に埋められている時、使用しようとする特定の周波数の信号だけを抽出するロッケーイン増幅器(Lock-in Amplifier)の原理を利用している。

【0028】

本発明のナノ線感知用光学顕微鏡システム1に使用する光学顕微鏡30の倍率は、1000倍乃至2500倍であるものを使用し、回転偏光板20が回転する間にCCDカメラ31を用いてナノ線試料の映像を秒当たり30乃至40フレームの動映像で2秒～20秒間貯蔵する。この時、CCDカメラ31は、 640×480 ピクセル又はそれ以上のピクセル数を有するものを利用することが一層効率的である。

【0029】

各フレーム当たり貯蔵されたCCDカメラ31で撮影された映像データは、横 $n_0 \times$ 縦 m_0 のピクセル数で構成された二次元配列で表示することができる。各々のピクセルは、ナノ線素子用試料で反射する光の強さ情報I(intensity)を有している。したがって、 (n, m) 番目ピクセルの強さ情報は、 $I(n, m)$ で表示することができる。

【0030】

一方、上述したように、各フレームは、一定の時間間隔(2～20秒間)で貯蔵されているので、時間軸を考慮すれば、光の強さ情報Iは、図2に示されたように、三次元配列で表示することができる。

【0031】

図2は、本発明に係るCCDカメラで撮影された三次元配列構造のナノ線映像データと、このデータから高速フーリエ変換方法を用いて獲得した映像処理状態を示す概略図であ

10

20

30

40

50

る。図2を参照すれば、時間軸は、合計 l_0 個 [l_0 = 秒当たりCCD映像貯蔵フレーム数 $\times$ 動映像貯蔵時間; sec] のCCD映像フレームが貯蔵される。1番目フレームで、 (n, m) ピクセルの光の強さ情報を $I(n, m)_1$ で表記すれば、 (n, m) ピクセルの光の強さ情報は、時間軸に対して $I(n, m)_1$ 、 $I(n, m)_2$ 、 $I(n, m)_3$ 、 $\dots$ 、 $I(n, m)_{l_0}$ の配列で情報を有するようになる。各々のピクセルは、時間軸で l_0 個のデータを有するので、各ピクセルに対して光の強さ情報に対する周波数情報を得ることができる。

【0032】

特に全てのピクセルで周波数 $2f_0$ に対応するフーリエ係数を選択して、新しいイメージが得られる場合、周波数 $2f_0$ に変調されるナノ線のイメージを抽出することができる。各ピクセルの時間軸データ $I(n, m)_1$ 、 $I(n, m)_2$ 、 $I(n, m)_3$ 、 $\dots$ 、 $I(n, m)_{l_0}$ は、離散(discrete)データであるので、離散フーリエ変換(discrete Fourier transform)を用いて周波数 $2f_0$ に対応するフーリエ係数を得ることができる。

【0033】

ところが、1つのピクセル当たり l_0 個(一例として、 $30 \sim 40$ フレーム $\times 2 \sim 20$ 秒)のデータからフーリエ係数を得る計算過程は、合計 l_0^2 回の計算を要求し、このような計算を合計 $n_0 \times m_0$ 個(例えば、 640×480 ピクセル)のピクセルに対して行わなければならないので、高速フーリエ変換(FFT: fast fourier transform)を用いて計算回数を低減することによって、映像処理速度を増加させることができる。

【0034】

言い換えれば、図2は、各ピクセル当たり時間データである $I(n, m)_1$ から高速フーリエ変換を用いて周波数 $2f_0$ に対応する複素数フーリエ係数 $(2f_0)n, m$ を獲得し、新しいイメージピクセルを得る模式図を示している。この時、複素数フーリエ係数の絶対値からナノ線のイメージ映像を得る。

【0035】

一方、フーリエ係数の位相情報は、ナノ線の軸方向に対する情報を有する。異なる軸方向を有するナノ線から反射される光の変調は、一定の時間差異をもって発生するので、フーリエ係数間に位相差異をもちらす。したがって、フーリエ係数の特定位相値は、それに対応するナノ線の軸方向角を意味するので、これを用いて特定方向に配設されたナノ線だけを選択的にイメージに示すことができる。

【0036】

図3A及び図3Bは、偏光板とナノ線試料の基準軸とがなす角度が0度である場合と90度である場合を示す映像図であり、図1の光学システムを用いてナノ線素子用試料から得ることができるナノ線の映像データを示している。上述したように、 θ は、偏光軸と基準軸として使われるナノ線との角度を示すもので、図3Aは、偏光軸とナノ線試料の基準軸との角度が0°である場合であり、図3Bは、偏光軸とナノ線基準軸との角度が90°である場合を示す。

【0037】

一般的に、回転偏光板20を通過した光は、この回転偏光板20の回転角度によって特定の方向に偏光される。仮に、偏光軸が水平である場合には、すなわち、偏光軸とナノ線の基準軸とがなす角度が0度である場合には、偏光軸と水平をなすナノ線の明るさが最大となり、偏光軸と垂直をなすナノ線の明るさが最低となる。この反面、偏光軸が垂直である場合には、垂直である偏光軸に並ぶ方向に配列されたナノ線の明るさが最大となる。

【0038】

図3Aを参照すれば、3つのナノ線a, b, cのうち偏光軸に並ぶ方向に配置されたナノ線aが最大の明るさを示すのに対し、ナノ線bは、最低明るさを示す。図3Bを参照すれば、3つのナノ線a, b, cのうち偏光軸に垂直方向に配置されたナノ線aの明るさが最低であるのに対し、ナノ線cの明るさが最大である。

【0039】

以上において説明した本発明は、本発明が属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲内で、様々な置換、変形及び変更が可能であるので、上述した実施例及び添付された図面に限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】本発明に係るナノ線感知用光学顕微鏡システムの一実施例を説明するための模式図である。

【図2】本発明に係るCCDカメラで撮影された3次元配列構造のナノ線映像データと、このデータから高速フーリエ変換方法を用いて獲得した映像処理状態を示す概略図である。

10

【図3A】偏光板とナノ線試料の基準軸とがなす角度が0度である場合を示す映像図で、図1の光学システムを用いてナノ線素子用試料から得ることができるナノ線の映像データを示している。

【図3B】偏光板とナノ線試料の基準軸とがなす角度が90度である場合を示す映像図で、図1の光学システムを用いてナノ線素子用試料から得ることができるナノ線の映像データを示している。

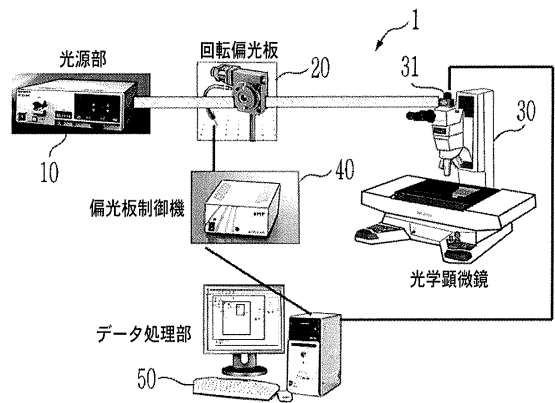
【符号の説明】

【0041】

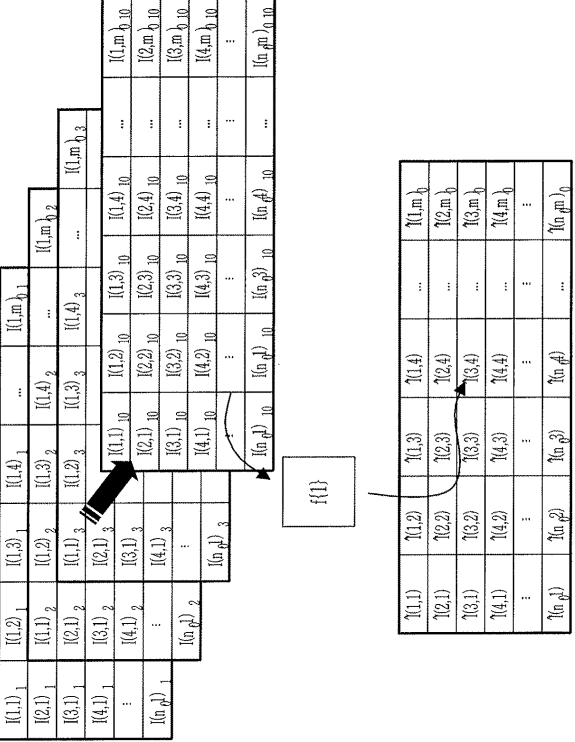
- 1 ナノ線感知用光学顕微鏡システム
- 10 光源部
- 20 回転偏光板
- 30 光学顕微鏡
- 31 CCDカメラ
- 40 偏光板制御機
- 50 データ処理部
- a, b, c ナノ線

20

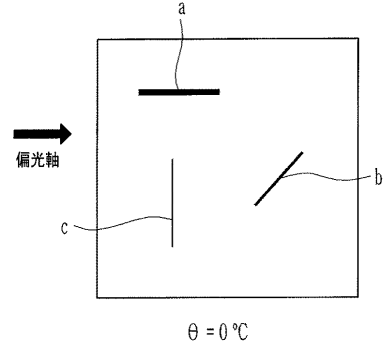
【図 1】



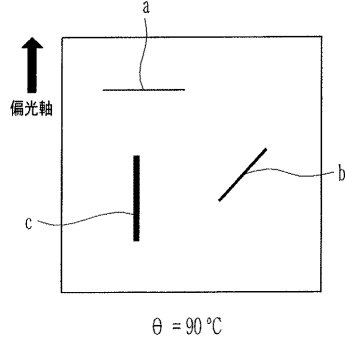
【図 2】



【図 3 A】



【図 3 B】



フロントページの続き

(73)特許権者 507362074

コリア ユニバーシティ インダストリアル アンド アカデミック コラボレーション ファウン
デーション

大韓民国 ソウル ソンブクグ アナムドン (番地なし) コリア ユニバーシティ内

(74)代理人 100077481

弁理士 谷 義一

(74)代理人 100088915

弁理士 阿部 和夫

(72)発明者 キム ウンキュン

大韓民国 テジョン ユソング シンソンドン (番地なし) デリム アpartment 105-
703

(72)発明者 ムン スンオン

大韓民国 テジョン ユソング グァンピョンドン (番地なし) ハンフワ アpartment 1
05-1701

(72)発明者 リ ホンヨル

大韓民国 チュンチョンブクド チョンジュシ サンダング ヨンガウムドン 2095 ヒュン
ダイ ファースト アpartment 102-1201

(72)発明者 パク ジョンヒュク

大韓民国 テグ ドング シナウムドン 766

(72)発明者 パク カンホ

大韓民国 テジョン ユソング ソンガンドン (番地なし) ハンマウル アpartment 11
0-206

(72)発明者 キム ジョンデ

大韓民国 テジョン ソグ グァンジョドン (番地なし) デジャヨンマウル アpartment
108-2105

(72)発明者 キム ギュテ

大韓民国 ソウル ソンブクグ アナムドン (番地なし) コリア ユニバーシティ内

(72)発明者 ジャン ドユン

大韓民国 ソウル ソンブクグ アナムドン (番地なし) コリア ユニバーシティ内

(72)発明者 パク ウンソク

大韓民国 ソウル ソンブクグ アナムドン (番地なし) コリア ユニバーシティ内

(72)発明者 ジ ヒュンジン

大韓民国 ソウル ソンブクグ アナムドン (番地なし) コリア ユニバーシティ内

審査官 佐野 浩樹

(56)参考文献 特開平10-268200 (JP, A)

特開平10-104524 (JP, A)

国際公開第2006/123712 (WO, A1)

特開平09-097332 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B19/00 - 21/00 、 21/06 - 21/36 、

H01L21/027、21/30