

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006 年 8 月 3 日 (03.08.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/080548 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 33/00 (2006.01) H01S 5/343 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/301702

(22) 国際出願日: 2006 年 1 月 26 日 (26.01.2006)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2005-020427 2005 年 1 月 27 日 (27.01.2005) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1 2-1 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中 健一郎 (TANAKA, Kenichiro) [JP/JP]; 〒2268503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内 Kanagawa (JP). 宗片 比呂夫 (MUNEKATA, Hiroo) [JP/JP]; 〒2268503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内 Kanagawa (JP). 近藤 剛 (KONDO, Tsuyoshi) [JP/JP]; 〒2268503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 青木 篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

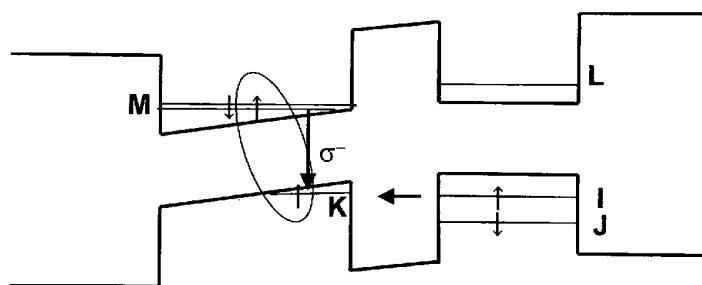
— 国際調査報告書
— 補正書・説明書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: p-i-n TYPE CIRCULAR POLARIZED MODULATED LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR ELEMENT AND LASER ELEMENT

(54) 発明の名称: p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子及びレーザ素子

(V=V_a)



(57) Abstract: There is provided a p-i-n circular polarized modulated light emitting semiconductor element having a quantum well structure formed by a non-magnetic semiconductor layer and a magnetic semiconductor layer of a small band gap arrange in the vicinity of or adjacent to the well layer of the structure. By applying an external voltage, circular polarization degree (clockwise and counterclockwise) can be modulated at a high speed so as to output a circular polarized light.

(57) 要約: 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接、又は、隣接して、バンドギャップの小さい磁性半導体層を備え、外部印加電圧により、円偏光度 (右回りと左回り) を高速で変調して、円偏光を出力できることを特徴とする p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

WO 2006/080548 A1

明 細 書

p - i - n 型円偏光変調発光半導体素子及びレーザ素子

技術分野

本発明は、外部印加電圧により、円偏光度（右回りと左回り）を高速で変調して、左回り円偏光と右回り円偏光を直接発光することができる円偏光発光半導体素子、及び、該素子の構造を共振器構造に構成した円偏光発光レーザ素子に関するものである。

背景技術

現在、光の偏光や位相を扱う光学技術の発展が目覚しい。円偏光を得る最も一般的な従来方法は、発光ダイオードやレーザ等の外部光源から出力する光を、直線偏光子と波長板（ $\lambda/4$ 板）に通して、円偏光状態を形成する方法である。しかし、この方法においては、左回り円偏光状態と右回り円偏光状態を切り替えるために、波長板を機械的に回転させなければならない。

それ故、円偏光状態を切り替える変調周波数が、波長板の機械的な回転の周波数に律速されてしまい、円偏光状態の変調（切り替え）を高速化するのには限界がある。また、この方法による円偏光状態の変調周波数は、数 kHz 程度以下にとどまり、さらなる高速での変調は期待できない。

円偏光状態を高速に変調する他の従来方法は、光弾性変調器を用いる方法である。この方法においては、外部光源から出力する光を直線偏光子に通し、その後、光弾性変調器に入射する。光弾性変調器に交流電圧（通常、50 kHz 程度）を印加すると、光弾性変調器を透過する光に、交流電圧に同期して、右回り円偏光と左回り円

偏光が交互に現れる。

この方法では、出力光の円偏光度（左回り、右回り）の変調周波数を、上記従来方法に比べて高くできるが、右回り円偏光と左回り円偏光を交互に現れるようにしかできず、右回り円偏光又は左回り円偏光を、任意のタイミングで形成することは原理的に不可能である。

また、上記いずれの従来方法においても、上記問題点があることに加え、外部に複数の光学素子（直線偏光子＋波長版、又は、直線偏光子＋光弾性変調器）を必要とするので、装置・機器の小型化には限界がある。さらに、光学素子（機器）は高価であり、光損失が大きい上、独立した検出器、又は、光源、変調器等の光学機器を複数個隣接して配列することも困難である。

このような問題点を背景に、円偏光を直接発する光源として、磁性体と半導体とを組み合わせた円偏光半導体レーザが提案されている（特許第2708085号公報、特表平9-501266号公報、及び、米国特許5874749号明細書、参照）。

特許第2708085号公報には、「活性領域を有するpn接合またはpin接合構造の半導体素子の上部又は下部又はその両方に磁性体電極を設け、該磁性体電極により活性領域にスピン偏極した電子又は正孔を注入するようにした光半導体素子」が開示されている。

上記素子を用いる光学装置では、磁性体電極上に、導体コイル（外部光学機器）を重ね合わせ、該導体コイルに電流パルスを通して磁性体電極の磁化の方向を切り替え、右回り円偏光と左回り円偏光を切り替えている。

特表平9-501266号公報及び米国特許5874749号明細書には、同様に、「ヘテロ接合を形成する半導体層に、磁性体層

を通してスピン偏極電子を注入して、スピン偏極キャリアを再結合させて円偏光を発信する光半導体装置」が開示されている。

この光半導体装置においては、外部磁場（外部機器）による磁性体の磁化反転によって円偏光を変調する。

しかし、上記いずれの円偏光発光半導体素子も、円偏光度の変調制御に外部磁場の変調を利用しているので、変調の高速化が困難である。

そこで、最近に至り、光半導体素子に直接電場を印加し円偏光状態を変調制御する試みが提案されている（Y. Ohno et al., "Electrical spin injection in a ferromagnetic semiconductor heterostructure", Nature 402 (1999) 790.、及び、R. Fiederling et al., "Injection and detection of a spin-polarized current in a light-emitting diode", Nature 402 (1999) 787.、参照）。

しかし、この提案においても、円偏光度（右回り、左回り）を高速で変調制御するまでには至っていない。即ち、円偏光状態（左回り、右回り）を、外部電場により、直接、高速で変調制御する方法は提案されていない。

発明の開示

本発明は、円偏光状態を、外部電場により、直接、高速で制御する方法が提案されていないことに鑑み、外部印加電圧により、円偏光度（右回りと左回り）を高速で変調して、円偏光を出力できる円偏光発光半導体素子、及び、該素子の構造を共振器構造に構成した円偏光発光レーザ素子を提供することを目的とする。

本発明者は、上記目的を達成するため鋭意研究した結果、強磁性半導体と非磁性半導体で構成した結合量子井戸構造において発現する、磁性イオンのスピンと半導体中のキャリアスピンの交換相互

作用を利用すると、外部印加電界を変調することにより、円偏光度を直接変調できることを見出した。

また、外部印加電界の変調を高速化することにより、円偏光度の変調を高速化できることも見出した。

本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、その要旨は以下のとおりである。

(1) 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接して、バンドギャップの小さい磁性半導体層を備えることを特徴とする $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

(2) 前記磁性半導体層が、前記量子井戸構造の障壁層に隣接していることを特徴とする前記 (1) に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

(3) 前記磁性半導体層が、非磁性半導体の障壁層で挟まれ量子井戸層を形成していることを特徴とする前記 (1) 又は (2) に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

(4) 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が厚く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していないことを特徴とする前記 (1) ~ (3) のいずれかに記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

(5) 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が薄く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していることを特徴とする前記 (1) ~ (3) のいずれかに記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

(6) 前記磁性半導体層が、強磁性半導体層であることを特徴とする前記 (1) ~ (5) のいずれかに記載の $p-i-n$ 型円偏光

変調発光半導体素子。

(7) 前記非磁性半導体が、III-V族非磁性半導体又はII-VI族非磁性半導体であることを特徴とする前記(1)～(6)のいずれかに記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

(8) 前記III-V族非磁性半導体が、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}Sb_y$ (A: Al、Gaのうちのいずれか1種又は2種)であることを特徴とする前記(7)に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

(9) 前記III-VI族非磁性半導体が、AB (A: Cd、Zn、Hgのうちのいずれか1種又は2種以上、B: O、S、Se、Teのうちのいずれか1種又は2種以上)であることを特徴とする前記(7)に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

(10) 前記磁性半導体が、III-V族磁性半導体又はII-VI族磁性半導体であることを特徴とする前記(1)～(9)のいずれかに記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

(11) 前記III-V族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ (A: Al、Ga、Inのうちのいずれか1種又は2種以上、B: Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niのうちのいずれか1種又は2種以上、C: N、P、As、Sbのうちのいずれか1種又は2種以上)であることを特徴とする前記(10)に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

(12) 前記II-VI族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ (A: Cd、Hgのうちのいずれか1種又は2種、B: Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niのうちのいずれか1種又は2種以上、C: O、S、Se、Teのうちのいずれか1種又は2種以上)であることを特徴とする前記(10)に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

(13) 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接して、バンドギャップの小さい磁性半導体層を備え、かつ、共振器構造を備えることを特徴とする p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(14) 前記磁性半導体層が、前記量子井戸構造の障壁層に隣接していることを特徴とする前記 (13) に記載の p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(15) 前記磁性半導体層が、非磁性半導体の障壁層で挟まれ量子井戸層を形成していることを特徴とする前記 (13) 又は (14) に記載の p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(16) 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が厚く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していないことを特徴とする前記 (13) ~ (15) のいずれかに記載の p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(17) 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が薄く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していることを特徴とする前記 (13) ~ (15) のいずれかに記載の p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(18) 前記磁性半導体層が、強磁性半導体層であることを特徴とする前記 (13) ~ (17) のいずれかに記載の p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(19) 前記非磁性半導体が、III-V 族非磁性半導体又は II-VI 族非磁性半導体であることを特徴とする前記 (13) ~ (18) のいずれかに記載の p-i-n 型円偏光変調発光レーザ素子。

(20) 前記 III-V 族非磁性半導体が、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}S$

b_y (A : A l、G a のうちのいずれか 1 種又は 2 種) であることを特徴とする前記 (19) に記載の p - i - n 型円偏光変調発光レーザー素子。

(21) 前記 III - VI 族非磁性半導体が、A B (A : C d、Z n、H g のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、B : O、S、S e、T e のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) であることを特徴とする前記 (19) に記載の p - i - n 型円偏光変調発光レーザー素子。

(22) 前記磁性半導体が、III - V 族磁性半導体又は II - VI 族磁性半導体であることを特徴とする前記 (13) ~ (21) のいずれかに記載の p - i - n 型円偏光変調発光レーザー素子。

(23) 前記 III - V 族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ (A : A l、G a、I n のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、B : S c、T i、V、C r、M n、F e、C o、N i のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、C : N、P、A s、S b のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) であることを特徴とする前記 (22) に記載の p - i - n 型円偏光変調発光レーザー素子。

(24) 前記 II - VI 族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ (A : C d、H g のうちのいずれか 1 種又は 2 種、B : S c、T i、V、C r、M n、F e、C o、N i のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、C : O、S、S e、T e のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) であることを特徴とする前記 (22) に記載の p - i - n 型円偏光変調発光レーザー素子。

本発明の円偏光変調発光半導体素子及び円偏光変調発光レーザー素子において、円偏光度の変調周波数は、円偏光発光素子で約 100 MHz に達し、円偏光発光レーザー素子では約 10 GHz に達する。この変調周波数は、従来技術で可能な変調周波数 (数 kHz ~ 数十 kHz) に比べ著しく高い。

また、従来技術では、円偏光状態を形成するのに少なくとも2つの外部光学素子（直線偏光子＋波長板、又は、直線偏光子＋光弾性変調器）を必要とするが、本発明の上記素子では、そのような外部光学素子（機器）を必要とせずに、左右の偏光状態を形成することができるので、光学装置を小型化できるとともに、さらに、他の半導体と集積化することもできる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明素子の素子構造と、そのエネルギー準位構造を示す図である。

図2は、図1（d）に示す素子構造を基礎とする本発明素子例を示す図である。（a）は素子構造を示し、（b）及び（c）は動作原理を示す。）は素子構造を示し、（b）及び（c）は動作原理を示す。

図3（a）は、本発明のストライプ発光型レーザ素子（強磁性半導体が面内磁化している）の一例を示す図である。

図3（b）は、本発明のストライプ発光型レーザ素子（強磁性半導体が面内磁化している）の他の例を示す図である。

図4（a）は、本発明の面発光型レーザ素子（強磁性半導体が垂直磁化している）の一例を示す図である。

図4（b）は、本発明の面発光型レーザ素子（強磁性半導体が垂直磁化している）の他の例を示す図である。

図4（c）は、本発明の面発光型レーザ素子（強磁性半導体が垂直磁化している）の上面を示す図である。

図5（a）は、本発明の特電流・電圧特性を示す図である。

図5（b）は、本発明の出力光強度の印加電圧依存性を示す図である。

図 5 (c) は、本発明の円偏光度の印加電圧依存性を示す図である。

図 6 は、円偏光度を検出する機器配列例を示す図である。

図 7 は、出力光の波形を示す図である。

図 8 は、出力レーザ光の波長を光スペクトラムアナライザーにより測定した結果を示す図である。

図 9 は、レーザ出力の順電流依存性を示す図である。

図 10 は、本発明素子を用いた光学異性体の存在比率の測定装置の構成例を示す図である。

図 11 は、エリプソメトリ装置の構成例を示す図である。(a) は、従来の構成例を示し、(b) は、本発明素子を用いた構成例を示す。

発明を実施するための最良の形態

1) まず、円偏光変調発光半導体素子について説明する。

(1) 素子構造

図 1 (a) ~ (d) に、本発明の円偏光変調発光半導体素子及び円偏光変調発光レーザ素子（本発明素子）において特徴とする 4 つの素子構造と、そのエネルギー準位構造を示す。

図 1 (a) 及び (b) に示す素子構造は、バンドギャップの大きい非磁性半導体で形成する障壁層 A、バンドギャップの小さい非磁性半導体で形成する量子井戸層 B、バンドギャップの大きい非磁性半導体で形成する障壁層 C、及び、バンドギャップの小さい磁性半導体で形成するバルク層 D1（エネルギーは量子化されていない）から構成されている。

また、図 1 (c) 及び (d) に示す素子構造は、バンドギャップの大きい非磁性半導体で形成する障壁層 A、バンドギャップの小さい

い非磁性半導体で形成する量子井戸層B、バンドギャップの大きい非磁性半導体で形成する障壁層C、バンドギャップの小さい磁性半導体で形成する量子井戸層D2（エネルギーは量子化されている）、及び、バンドギャップの大きい非磁性半導体で形成する障壁層Eから構成されている。

なお、図1中、F～Lは、エネルギー準位を示す。

上記4つの素子構造においては、バンドギャップの大きい非磁性半導体で形成する障壁層A、Cとバンドギャップの小さい非磁性半導体で形成する量子井戸層Bから構成される量子井戸構造と、該構造に近接して、バンドギャップの小さい磁性半導体で形成する磁性半導体層D（バルク層D1又は量子井戸層D2）を有する点が共通する。この点が本発明素子の特徴である。

異なる点については、以下説明する。

図1（a）及び（b）に示す素子構造において、磁性半導体層Dは、障壁層によって挟まれておらず、量子井戸層を形成しない。上記層Dは、バルク層D1として機能する。

本発明素子では、磁性半導体の量子化準位が、アップスピンとダウンスピンでエネルギー分裂を起こしていることを利用するが、上記のように、磁性半導体が量子化準位を形成していない場合には、価電子帯の底におけるエネルギーが、アップスピンとダウンスピンでエネルギーが異なる（図中、H、I、参照）ことを利用する。

図1（c）及び（d）に示す素子構造においては、磁性半導体層Dは、障壁層C及びEによって挟まれて、量子井戸層D2を形成する。そして、量子井戸層D2内では、量子化準位（図中、K、L、参照）が形成されている。即ち、磁性半導体は、量子井戸として機能する。

このように、磁性半導体が量子化準位を形成する場合は、量子化

準位の分裂（図中、K、L、参照）を利用する。

また、図1（a）及び（c）に示す素子構造においては、非磁性半導体で形成する量子井戸層Bと磁性半導体層D（バルク層D1又は量子井戸層D2）とを隔てる障壁層C（バンドギャップの大きい非磁性半導体からなる）が、図1（b）及び（d）に示す素子構造における障壁層Cに比べて、厚く構成されている。

上記障壁層Cの層厚が厚い場合には、非磁性半導体で形成する量子井戸層と磁性半導体層において波動関数の重なり又は結合がない。一方、上記障壁層Cの層厚が薄い場合には、上記両層において波動関数は結合している。

（2）素子構造の動作原理

ここで、図1（d）に示す素子構造を例にとり、本発明素子の動作原理を説明する。図2（a）に、上記素子構造をとる本発明素子の一例（本発明素子例）を示し、図2（b）及び（c）に、そのエネルギー準位構造を示す。

本発明素子例は、基板（n型）Qの上に、バッファ層（n型）Rを介し、図1（d）に示す素子構造を構成するA～E層が積層され、さらに、非磁性半導体（p型）で形成する障壁層Eの上に、コンタクト層Sが積層されている。そして、上記A～E層には、バッファ層（n型）Rとコンタクト層Sを介し、電圧Vを印加できるように回路構成する。

p型強磁性半導体からなる量子井戸層Dにおいては、磁性イオンのスピンと半導体中のキャリアスピンとの交換相互作用により、価電子帯が、上向きスピンと下向きスピン間にエネルギー分裂を起こしている（図中、I、J、参照）。

本発明素子例は、量子井戸層Dを構成する強磁性半導体のキュリー温度以下で使用する。キュリー温度は、これまでの報告によれば

、150 K 程度及びそれ以下であるが、近年、さらに高いキュリー温度（例えば、室温以上）を持つ強磁性半導体が報告されている。本発明素子で使用する強磁性半導体は特定のものに限定されないもので、本発明素子の動作は、必ずしも低温環境下だけに制限されない。

なお、強磁性半導体は、キュリー温度以下で自発磁化を有しているので、本発明素子の動作において、該素子に外部磁場を印加する必要はないが、より大きな円偏光度を得るために、動作時（又は動作前）に、外部磁場を適宜印加して着磁してもよい。

図 2 に示す本発明素子例では、量子井戸層 D は、量子井戸層 B に比べ、層厚が薄くなっており、量子井戸層 D における量子化準位（伝導帯 L、価電子帯 I、J）は、量子井戸層 B における量子化準位（伝導帯 M、価電子帯 K）より高くなっている。

量子化準位が上記関係にある素子に、順方向電圧 V を印加すると、n 型領域にある電子は、図 2（a）中、A → E の方向へ移動し、p 型領域にある正孔は、E → A の方向へ移動するが、電子は、中央の障壁層 C によりブロックされるので、i 型非磁性半導体で形成する量子井戸層 B に蓄積され、一方、正孔は、p 型強磁性半導体で形成する量子井戸層 D に蓄積される。

そして、上記素子に、量子井戸層 B の量子化準位 K と、量子井戸層 D におけるアップスピンをもつ正孔の量子化準位 I が一致するような電圧（ $V = V_a$ ）を印加すると、アップスピンを持つ正孔のみが、共鳴トンネル現象により量子井戸層 B に移動し、量子井戸層 B で再結合し、発光する（図 2（b）、参照）。

この時、光学選択則により、アップスピンを持つ電子とアップスピンを持つ正孔のみが再結合し、左回り円偏光（ σ^- ）の発光が観測される。

さらに、量子井戸層 B の量子化準位 K と、量子井戸層 D のダウンスピンを持つ正孔に対する量子化準位 J が一致するような電圧 ($V = V_b$) を印加すると、ダウンスピンを持つ正孔のみが共鳴トンネル現象により、量子井戸層 B に注入され、再結合し、発光する (図 2 (c)、参照)。

この時、光学選択則により、ダウンスピンを持つ電子とダウンスピンを持つ正孔のみが再結合し、右回り円偏光 (σ^+) の発光が観測される。

以上の原理により、電圧 V_a と V_b の間で印加電圧を、所定の周波数で変調することにより、右回り円偏光 (σ^+) と左回り円偏光 (σ^-) を、上記周波数に従って変調できる。この点が、本発明素子における特徴的動作である。

(3) ここで、本発明素子で用いる半導体の材料について説明する。

p 型又は n 型の非磁性半導体は、III-V 族非磁性半導体又は II-VI 族非磁性半導体が好ましい。特に、III-V 族非磁性半導体としては、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}Sb_y$ ($A: Al, Ga$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種) が好ましく、また、III-VI 族非磁性半導体としては、 AB ($A: Cd, Zn, Hg$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、 $B: O, S, Se, Te$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) が好ましい。

p 型磁性半導体としては、III-V 族磁性半導体が好ましい。特に、III-V 族磁性半導体としては、 $A_{1-x}B_xC$ ($A: Al, Ga, In$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、 $B: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、 $C: N, P, As, Sb$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) が好ましい。

また、i 型磁性半導体は、III-V 族磁性半導体又はII-VI族磁性半導体が好ましい。

特に、III-V 族磁性半導体としては、 $A_{1-x}B_xC$ (A : Al、Ga、In のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、 B : Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、 C : N、P、As、Sb のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) が好ましい。

また、II-VI 族磁性半導体としては、 $A_{1-x}B_xC$ (A : Cd、Hg のうちのいずれか 1 種又は 2 種、 B : Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上、 C : O、S、Se、Te のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上) が好ましい。

2) 次に、円偏光変調発光レーザ素子について説明する。

円偏光変調発光レーザ素子の素子構造は、円偏光変調発光半導体素子の素子構造と基本的に同じであり、該構造を共振器構造にすることで、レーザ発光を実現することができる。

レーザ発光は、面発光型及びストライプ発光型のどちらも可能であるが、より大きな円偏光度を持つレーザを発光するためには、素子構造を、強磁性半導体が面内磁化を有している場合 (例えば、(Ga, Mn)As) はストライプ発光型の素子構造 (図 3 (a)、(b)、参照) とし、強磁性半導体が垂直磁化を有している場合 (例えば、(Ga, Mn)As:N) は、面発光型の素子構造 (図 4 (a) ~ (c)、参照) とするのが好ましい。

実施例

次に、本発明の実施例について説明するが、実施例の条件は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例であ

り、本発明は、この一条件例に限定されるものではない。

本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

また、応用例を幾つか示したが、本発明素子の応用は、これら応用例に限定されるものではない。本発明は、その特徴（素子構造及び動作原理）を利用する限りにおいて、種々の応用が可能なものである。

（実施例 1）円偏光変調発光半導体素子の作製

A. 成膜

分子線エピタキシー法（MBE法）を用い、Siドープn型GaAsの上に、下記の手順に従って成膜を行った。

1. 基板温度600℃で、バッファ層として、厚さ2μmのSnドープn-GaAs層（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）を成膜

2. 基板温度600℃で、厚さ50nmのSnドープ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）を成膜（障壁層）。

3. 基板温度600℃で、厚さ4nmのノンドープGaAs層を成膜（量子井戸層）。

4. 基板温度600℃で、厚さ5nmのノンドープ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層を成膜（障壁層）。

5. 基板温度210℃で、厚さ5nmの強磁性半導体（p型）の（Ga、Mn）As層（Mn濃度4%、キャリア濃度 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）を成膜（量子井戸層）。

6. 基板温度210℃で、厚さ20nmのBeドープp-AlGaAs層（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）を成膜（障壁層）。

7. 基板温度210℃で、厚さ100nmのBeドープp-Ga

A s 層（キャリア濃度 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ）を成膜（コンタクト層）。

B. 加工

M B E 法で作製した上記素子構造を、(1 1 0) 面をへき開面としてへき開した。素子長 (L) は $300 \mu\text{m}$ 、幅 (W) は $200 \mu\text{m}$ である。上部に、p 電極として T i (5 nm) / A u (50 nm) を蒸着した。蒸着後、n - G a A s 基板の裏面を I C ホルダの銅電極上に、I n でマウントした。さらに、p 電極を、金線で I C ホルダの端子に接続した。

C. 円偏光出力の検出

(C-1) 上記素子の強磁性半導体 (G a , M n) A s のキューリ温度は 100K であるので、該素子を液体窒素温度 (77K) に冷却した。強磁性半導体は、キューリ温度以下で自発磁化を有している（容易化軸は面内）ので、素子に外部磁場を印加する必要はないが、より大きな円偏光度を得るために、動作時（又は動作前）に、磁場印加用の永久磁石を置いて、 0.55T e s l a 程度の磁場を印加して着磁してもよい。

図 5 (a) に、電流・電圧特性を、また、図 5 (b) に、出力光強度の印加電圧依存性を示す。印加電圧 $V_a = 0.7 \text{V}$ 、及び、 $V_b = 0.71 \text{V}$ のそれぞれにおいて、極値が現れていることが解る。出力光の波長を、光スペクトラムアナライザーを用いて測定した結果、該波長は 770nm であった。

(C-2) 次に、出力光の円偏光度の測定を行った。図 6 に、円偏光高速変調発光半導体素子からの出力光の円偏光度を検出するために構成した機器配列を示す。

出力光を、光学遅延軸を水平面に対し 45° 傾けた光弾性変調器に通した後 ($\lambda/4$ 遅延)、水平面に対し偏光角 0 に設定したグラ

ンレーザプリズム（直線偏光子）を通し、直線偏光とした後の光強度をホトダイオードで受光した。

光弾性変調器は、印加電圧を調整して、偏光角 0 の直線偏光が入射したときに、右回り・左回りの円偏光が 50 kHz の周波数で交互に生じるように調整した。

ホトダイオードから生じた光電流は、電流・電圧増幅器（増幅率 10^6 V/A ）により電圧信号に変換・増幅した後、デジタルストレージョシロスコープ（入力インピーダンス $100 \text{ M}\Omega$ ）に入力した。

図 7 に、得られた出力光の波形を示す。円偏光度 P は、 I_+ 、 I_- を、それぞれ右回り円偏光、左回り円偏光の強度として、下記の式によって定義される。

$$P = (I_+ - I_-) / (I_+ + I_-)$$

図 5 (c) に、円偏光度の印加電圧依存性を示す。円偏光度 P は、最大で 20 % である。本素子を用いて、電流値を一定にし、電圧を V_a と V_b の間で変調することにより、左回り円偏光と右回り円偏光の間で変調を行った。本素子において、円偏光度の最大変調周波数は、約 100 MHz であった。

（実施例 2）円偏光変調発光レーザ素子の作製

A. 成膜

分子線エピタキシー法（MBE 法）を用い、Si ドープ n 型 GaAs の上に、下記の手順に従って成膜を行った。

1. 基板温度 600 °C で、バッファ層として厚さ $2 \mu\text{m}$ の Sn ドープ n-GaAs 層（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）を成膜。
2. 基板温度 600 °C で、厚さ 50 nm の Sn ドープ n-Al_{0.3}Ga_{0.7}As 層（キャリア濃度 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ）を成膜。
3. 基板温度 600 °C で、厚さ 5 nm のノンドープ GaAs 層を

成膜。

4. 基板温度 600°C で、厚さ 5 nm のノンドープ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ を成膜。

5. 基板温度 210°C で、厚さ 5 nm の強磁性半導体 (p 型) の (Ga 、 Mn) As 層 (キャリア濃度 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$) を成膜。

6. 基板温度 210°C で、厚さ 20 nm の Be ドープ p- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層 (キャリア濃度 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) を成膜。

7. 基板温度 210°C で、厚さ 100 nm の Be ドープ p- GaAs (キャリア濃度 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$) を成膜。

B. 加工

MBE 法で作製した上記素子構造の上部を、ホトリソグラフィで加工し、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ をストライプ状に残した。ストライプ幅 (S) は $10\text{ }\mu\text{m}$ とした (図 3 (b)、参照)。その後、同じくホトリソグラフィを用いて、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 上に、p 電極として、 Ti (5 nm) / Au (20 nm) を蒸着した。

次いで、素子構造を、 GaAs の (110) へき開面に沿ってへき開した。素子長 (L) は $300\text{ }\mu\text{m}$ 、幅 (W) は $200\text{ }\mu\text{m}$ である。へき開面での反射率を上げるため、へき開面に、 ZnS と MgF_2 を交互に積層した誘電体多層膜を蒸着した。本素子における発信波長 770 nm での誘電体多層膜の反射率は約 98% である。

p 電極を、金線で IC ホルダの端子に接続した。また、上記素子構造の裏面を、IC ホルダの銅電極 (n 電極) 上に、In でマウントし、さらに、n 電極を、金線で IC ソケットの端子に接続した。

C. 円偏光出力の検出

図 8 に、出力レーザ光の波長を光スペクトラムアナライザーにより測定した結果を示す。順方向印加電圧 0.70 V の時、及び、 0

71 Vの時に、レーザ発振が起きた。

図9に、印加電圧0.70 V及び0.71 Vの時のレーザ出力の順電流依存性を示す。印加電流を一定にして印加電圧を変調することにより、左回り・右回りの円偏光度を変調することができた。最大変調周波数は約10 GHzであった。

以上、(実施例1)及び(実施例2)で説明したように、本発明素子は、円偏光変調光半導体素子として、実際に機能するものである。したがって、本発明素子の応用例として種々考えられるが、典型的な応用例を、以下に説明する。

(応用例1) 光学異性体の存在比率の測定装置

本発明素子を用いて、図10に示すような上記測定装置を構成できる。

光学異性体は、旋光度以外の物理的性質、化学的性質が同じであるため、光学異性体の存在比率を測定するためには、右回り・左回りの円偏光に対する吸収率の差を検出する必要がある。この時、上記吸収率の差を高感度で測定するためには、出力光の円偏光度を高速変調し、光学異性体を透過した光強度の変調成分を検出する方法が最も有用である(位相検波法)。

本発明素子は、出力光の偏光度を、外部印加電圧の変調により高速で変調できるので、位相検波法に従う測定装置に応用できる。

図10に、L-グルタミン酸水溶液の光学異性体の存在比率を測定する測定装置の一構成を示す。

左回り円偏光と右回り円偏光を、被測定試料のL-グルタミン酸水溶液に照射する。L-グルタミン酸は、光学的異性体で、左回り円偏光を選択的に強く吸収する。

被測定試料を通過した円偏光をフォトダイオードに入力し、出力電流を電流／電圧変換増幅器で増幅し、デジタルオシロスコープに入

力する。

被測定試料のL-グルタミン酸水溶液は、100 mdegの円二色性を示すことが、別の測定で解かっているので、パーソナルコンピュータ（図示なし）で、被測定試料の円二色性を計算して一致性を確認する。一計算例で、約100 degの円二色性を得た。このように、本発明素子を用いることにより、光学異性の円二色性を高精度で測定できる。

（応用例2）エリプソメトリ装置

本発明素子を、エリプソメトリ装置に応用することができる（図11、参照）。エリプソメトリ装置では、光源からの光を直線偏光子により直線偏光して、試料に、斜めに入射し、その反射光の楕円率を測定するが、この方法では、少なくとも、三つの外部光学素子（機器）を必要とする（図11（a）、参照）ので、装置全体の小型化には限界がある。

しかし、本発明素子を用いると、図11（b）に示すように、必要な光学素子（機器）は、直線偏光子一つであるので、装置全体を大幅に小型化できる。

（応用例3）高速光通信用光源

既存の光通信網では、光強度の強弱を信号の0、1に対応させて通信を行う。通信の多重化を実現するため、偏光の自由度を用いることが考えられるが、従来技術では、右回り・左回りの円偏光度を、外部の光学素子（機器）で制御しなければならず、光源の小型化、さらに、高速化も困難である。

本発明素子は、外部電圧を高速で変調することにより、右回り円偏光、左回り円偏光を高速で変調できるので、本発明素子を光源として用いることにより、既存の光通信網において、多重化高速通信を達成できる。

(応用例 4) ナノ構造磁気メモリの磁区構造の観察

左回り円偏光と右回り円偏光では、試料表面の垂直磁化の方向に対応して反射率が異なるので、磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) などの表面の磁区構造を直接観察するための小型光源として用いることができる。

産業上の利用可能性

本発明によれば、外部印加電圧により、右回り・左回りの円偏光度を、高速で制御することがきる。即ち、外部印加電圧の周波数を変調して、出力光の偏光度を高速で変調制御することができる。

また、本発明は、外部の光学素子（機器）を必要としないので、光学装置を小型化できるとともに、さらに、半導体と集積化することもできる。

したがって、本発明は、光学技術だけでなく、生産技術、情報通信技術、スペクトロスコピー、ナノテクノロジー、量子操作技術を基盤とする先端技術産業における利用可能性が極めて大きいものである。

請 求 の 範 囲

1. 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接して、バンドギャップの小さい磁性半導体層を備えることを特徴とする p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

2. 前記磁性半導体層が、前記量子井戸構造の障壁層に隣接していることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

3. 前記磁性半導体層が、非磁性半導体の障壁層で挟まれ量子井戸層を形成していることを特徴とする請求の範囲 1 又は 2 に記載の p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

4. 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が厚く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していないことを特徴とする請求の範囲 1～3 のいずれか 1 項に記載の p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

5. 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が薄く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していることを特徴とする請求の範囲 1～3 のいずれか 1 項に記載の p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

6. 前記磁性半導体層が、強磁性半導体層であることを特徴とする請求の範囲 1～5 のいずれか 1 項に記載の p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

7. 前記非磁性半導体が、III-V 族非磁性半導体又は II-VI 族非磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲 1～6 のいずれか 1 項に記載の p-i-n 型円偏光変調発光半導体素子。

8. 前記III-V族非磁性半導体が、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}Sb_y$ ($A: Al, Ga$ のうちのいずれか1種又は2種)であることを特徴とする請求の範囲7に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

9. 前記III-VI族非磁性半導体が、 AB ($A: Cd, Zn, Hg$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $B: O, S, Se, Te$ のうちのいずれか1種又は2種以上)であることを特徴とする請求の範囲7に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

10. 前記磁性半導体が、III-V族磁性半導体又はII-VI族磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲1~9のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

11. 前記III-V族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ ($A: Al, Ga, In$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $B: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $C: N, P, As, Sb$ のうちのいずれか1種又は2種以上)であることを特徴とする請求の範囲10に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

12. 前記II-VI族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ ($A: Cd, Hg$ のうちのいずれか1種又は2種、 $B: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $C: O, S, Se, Te$ のうちのいずれか1種又は2種以上)であることを特徴とする請求の範囲10に記載のp-i-n型円偏光変調発光半導体素子。

13. 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接して、バンドギャップの小さい磁性半導体層を備え、かつ、共振器構造を備えることを特徴とするp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

14. 前記磁性半導体層が、前記量子井戸構造の障壁層に隣接していることを特徴とする請求の範囲13に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

15. 前記磁性半導体層が、非磁性半導体の障壁層で挟まれ量子井戸層を形成していることを特徴とする請求の範囲13又は14に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

16. 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が厚く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していないことを特徴とする請求の範囲13～15のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

17. 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が薄く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していることを特徴とする請求の範囲13～15のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

18. 前記磁性半導体層が、強磁性半導体層であることを特徴とする請求の範囲13～17のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

19. 前記非磁性半導体が、III-V族非磁性半導体又はII-VI族非磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲13～18のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

20. 前記III-V族非磁性半導体が、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}Sb_y$ (A: Al、Gaのうちのいずれか1種又は2種)であることを特徴とする請求の範囲19に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

21. 前記III-VI族非磁性半導体が、AB (A: Cd、Zn、

Hgのうちのいずれか1種又は2種以上、B：O、S、Se、Teのうちのいずれか1種又は2種以上）であることを特徴とする請求の範囲19に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

22. 前記磁性半導体が、III-V族磁性半導体又はII-VI族磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲13～21のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

23. 前記III-V族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ （A：Al、Ga、Inのうちのいずれか1種又は2種以上、B：Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niのうちのいずれか1種又は2種以上、C：N、P、As、Sbのうちのいずれか1種又は2種以上）であることを特徴とする請求の範囲22に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

24. 前記II-VI族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ （A：Cd、Hgのうちのいずれか1種又は2種、B：Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niのうちのいずれか1種又は2種以上、C：O、S、Se、Teのうちのいずれか1種又は2種以上）であることを特徴とする請求の範囲22に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

補正書の請求の範囲

[2006年6月28日 (28. 06. 2006) 国際事務局受理]

1. (補正後) 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接して、磁性半導体層を備え、電気的な変化で、右回り円偏光と左回り円偏光のいずれか一方に切り換わることを特徴とする $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

2. 前記磁性半導体層が、前記量子井戸構造の障壁層に隣接していることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

3. 前記磁性半導体層が、非磁性半導体の障壁層で挟まれ量子井戸層を形成していることを特徴とする請求の範囲 1 又は 2 に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

4. (削除)

5. 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が薄く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していることを特徴とする請求の範囲 1～3 のいずれか 1 項に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

6. 前記磁性半導体層が、強磁性半導体層であることを特徴とする請求の範囲 1～5 のいずれか 1 項に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

7. 前記非磁性半導体が、III-V 族非磁性半導体又は II-VI 族非磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲 1～6 のいずれか 1 項に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

8. 前記 III-V 族非磁性半導体が、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}Sb_y$ ($A: Al, Ga$ のうちのいずれか 1 種又は 2 種) であることを特徴とする請求の範囲 7 に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

子。

9. (補正後) 前記II-VI族非磁性半導体が、 AB ($A: Cd, Zn, Hg$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $B: O, S, Se, Te$ のうちのいずれか1種又は2種以上) であることを特徴とする請求の範囲7に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

10. 前記磁性半導体が、III-V族磁性半導体又はII-VI族磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲1～9のいずれか1項に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

11. 前記III-V族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ ($A: Al, Ga, In$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $B: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $C: N, P, As, Sb$ のうちのいずれか1種又は2種以上) であることを特徴とする請求の範囲10に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

12. 前記II-VI族磁性半導体が、 $A_{1-x}B_xC$ ($A: Cd, Hg$ のうちのいずれか1種又は2種、 $B: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni$ のうちのいずれか1種又は2種以上、 $C: O, S, Se, Te$ のうちのいずれか1種又は2種以上) であることを特徴とする請求の範囲10に記載の $p-i-n$ 型円偏光変調発光半導体素子。

13. (補正後) 非磁性半導体層からなる量子井戸構造と、該構造の障壁層に近接して、磁性半導体層を備え、かつ、共振器構造を備え、電気的な変化で、右回り円偏光と左回り円偏光のいずれか一方に切り換わることを特徴とする $p-i-n$ 型円偏光変調発光レーザー素子。

14. 前記磁性半導体層が、前記量子井戸構造の障壁層に隣接していることを特徴とする請求の範囲13に記載の $p-i-n$ 型円偏

光変調発光レーザ素子。

15. 前記磁性半導体層が、非磁性半導体の障壁層で挟まれ量子井戸層を形成していることを特徴とする請求の範囲13又は14に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

16. (削除)

17. 前記量子井戸構造と磁性半導体層を隔てる障壁層が薄く、非磁性半導体の量子井戸層におけるキャリアの波動関数と、磁性半導体層におけるキャリアの波動関数が結合していることを特徴とする請求の範囲13～15のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

18. 前記磁性半導体層が、強磁性半導体層であることを特徴とする請求の範囲13～17のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

19. 前記非磁性半導体が、III-V族非磁性半導体又はII-VI族非磁性半導体であることを特徴とする請求の範囲13～18のいずれか1項に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

20. 前記III-V族非磁性半導体が、 $A_{1-x}In_xAs_{1-y}Sb_y$ (A: Al、Gaのうちのいずれか1種又は2種)であることを特徴とする請求の範囲19に記載のp-i-n型円偏光変調発光レーザ素子。

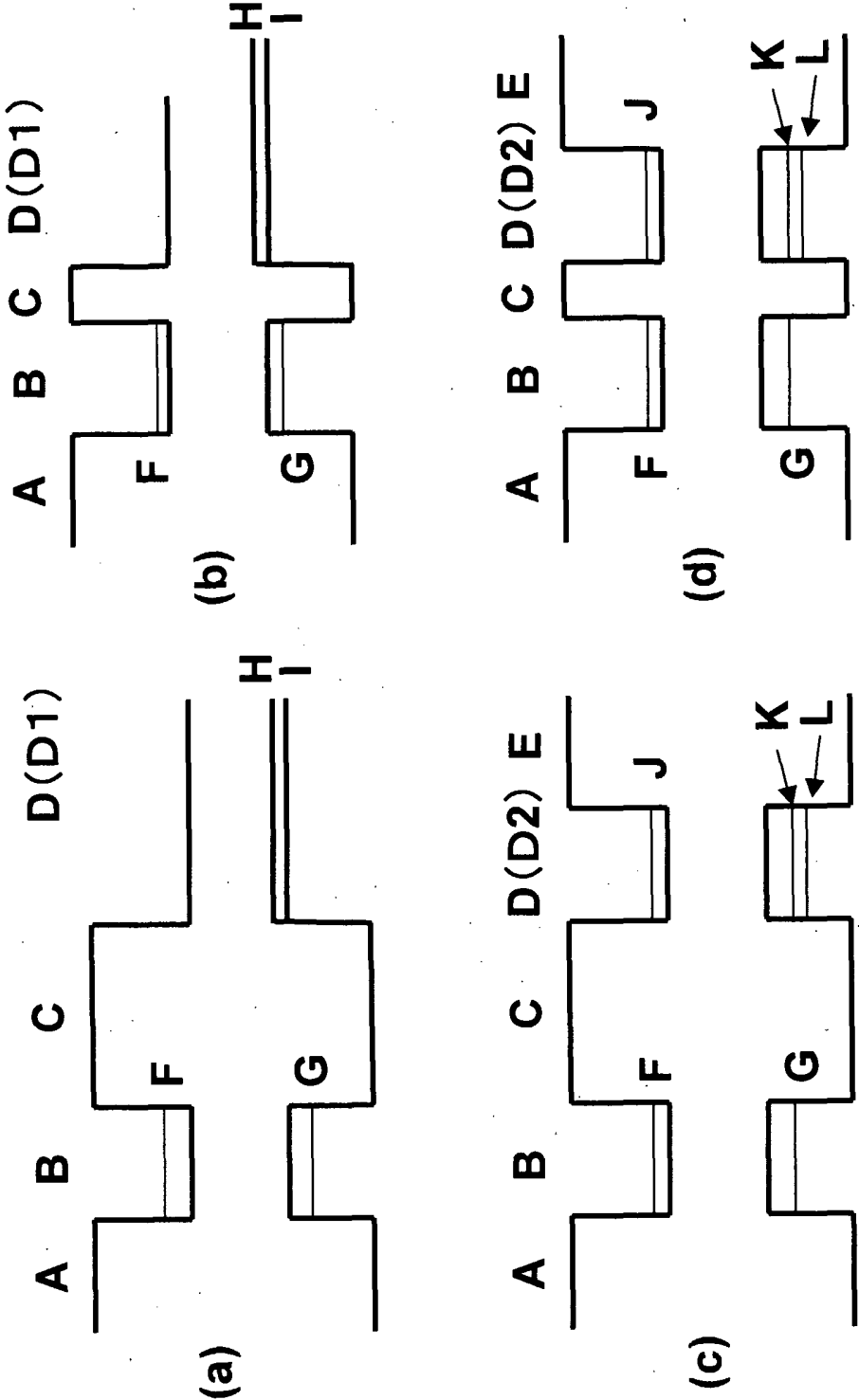
21. (補正後) 前記II-VI族非磁性半導体が、AB (A: Cd、Zn、

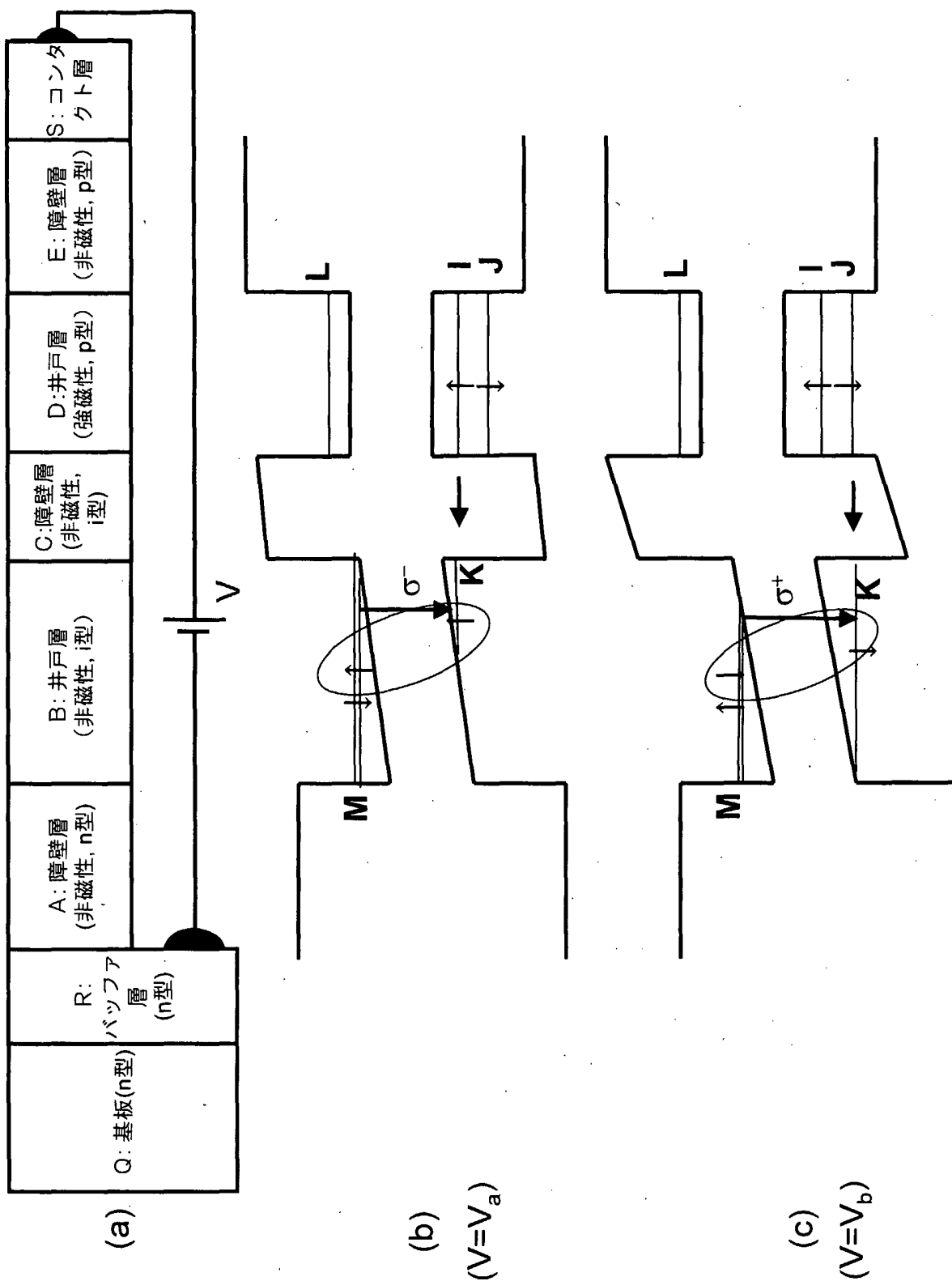
条約19条(1)に基づく説明書

差替え用紙に記載した請求の範囲は最初に提出した請求の範囲と以下のように関連する。

- (1) 請求項 1 , 9 , 13 および 21 を補正した。
- (2) 請求項 4 および 16 を削除した。

Fig.1





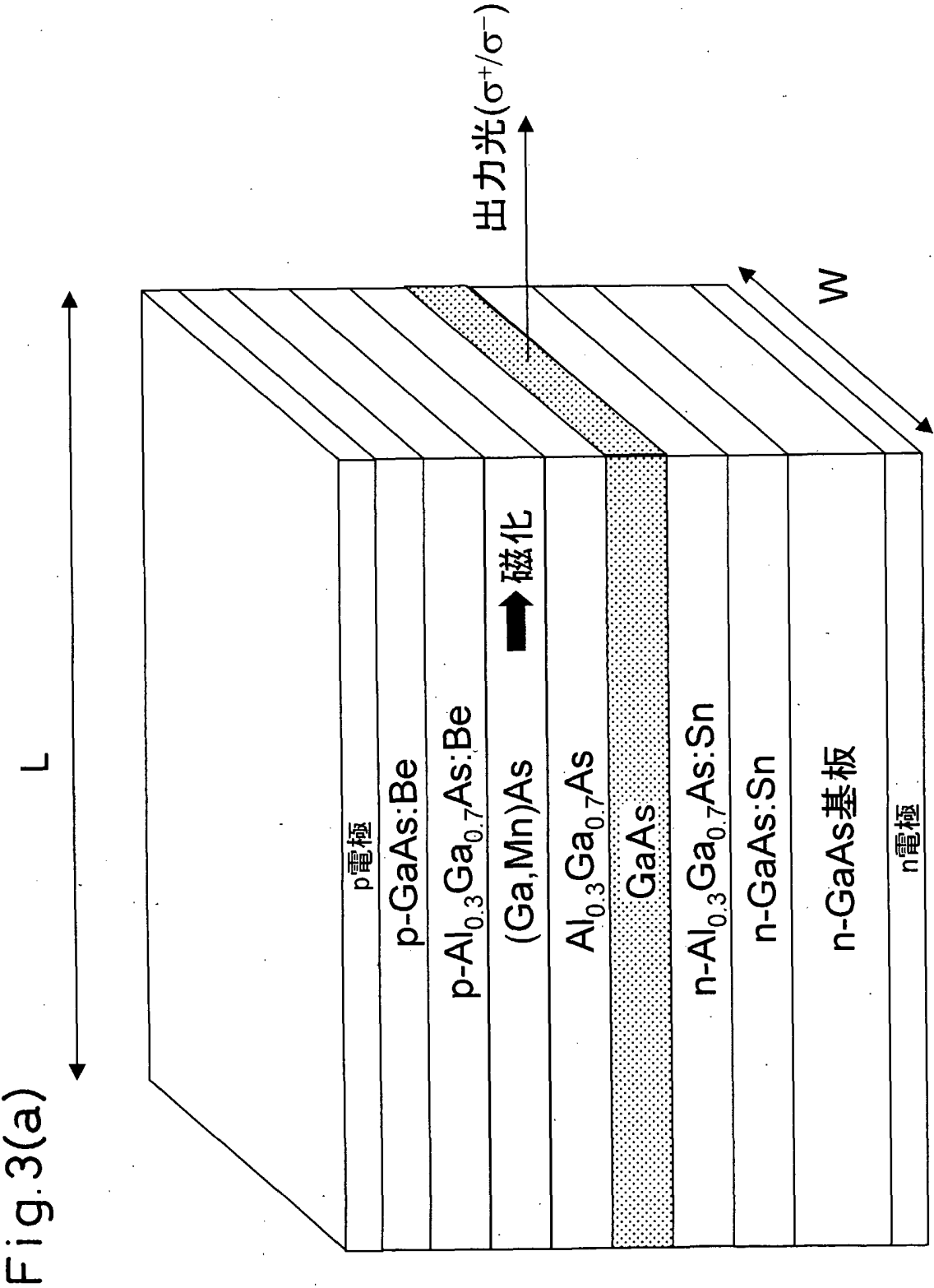


Fig. 3(b)

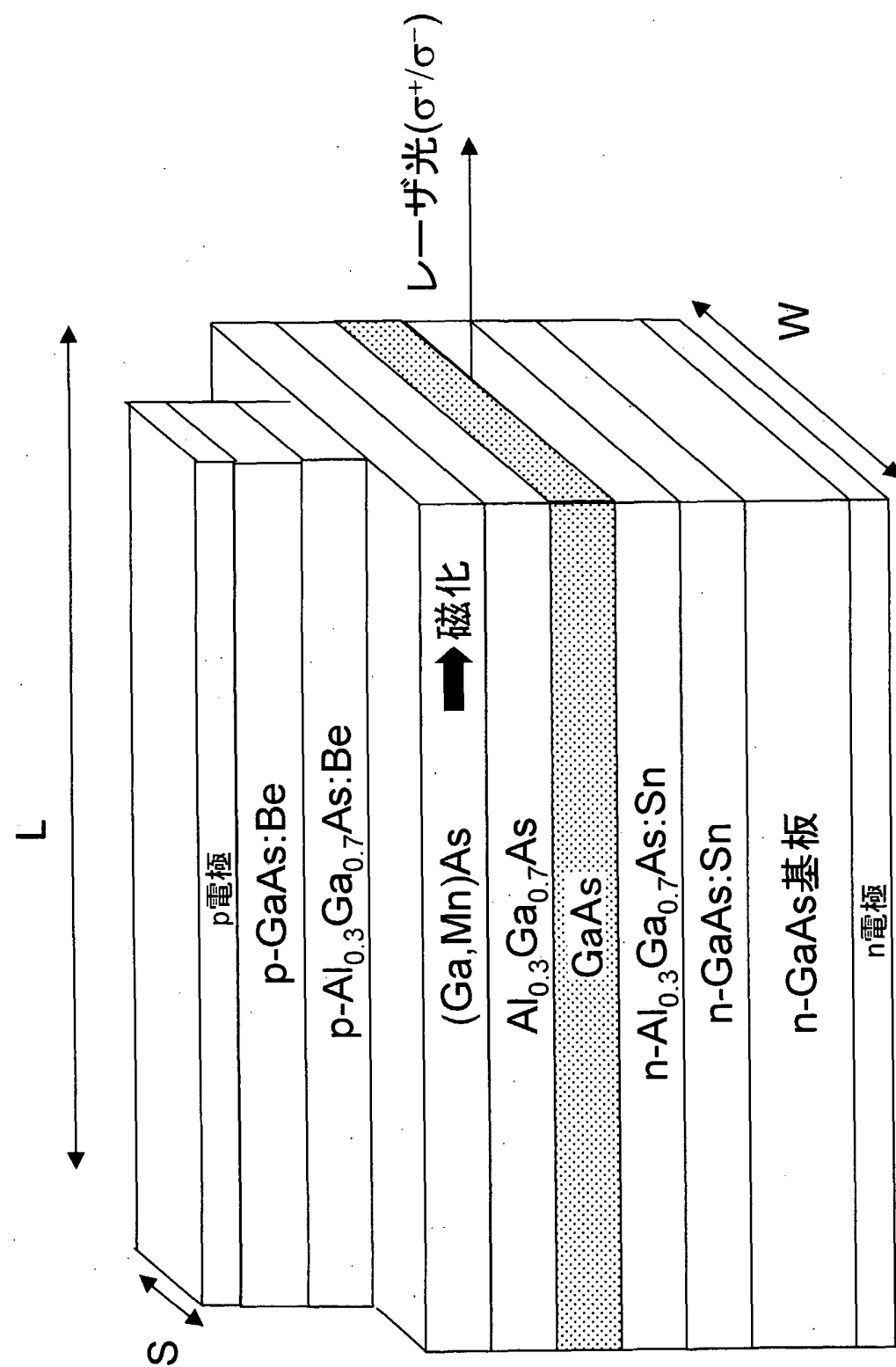


Fig. 4(a)

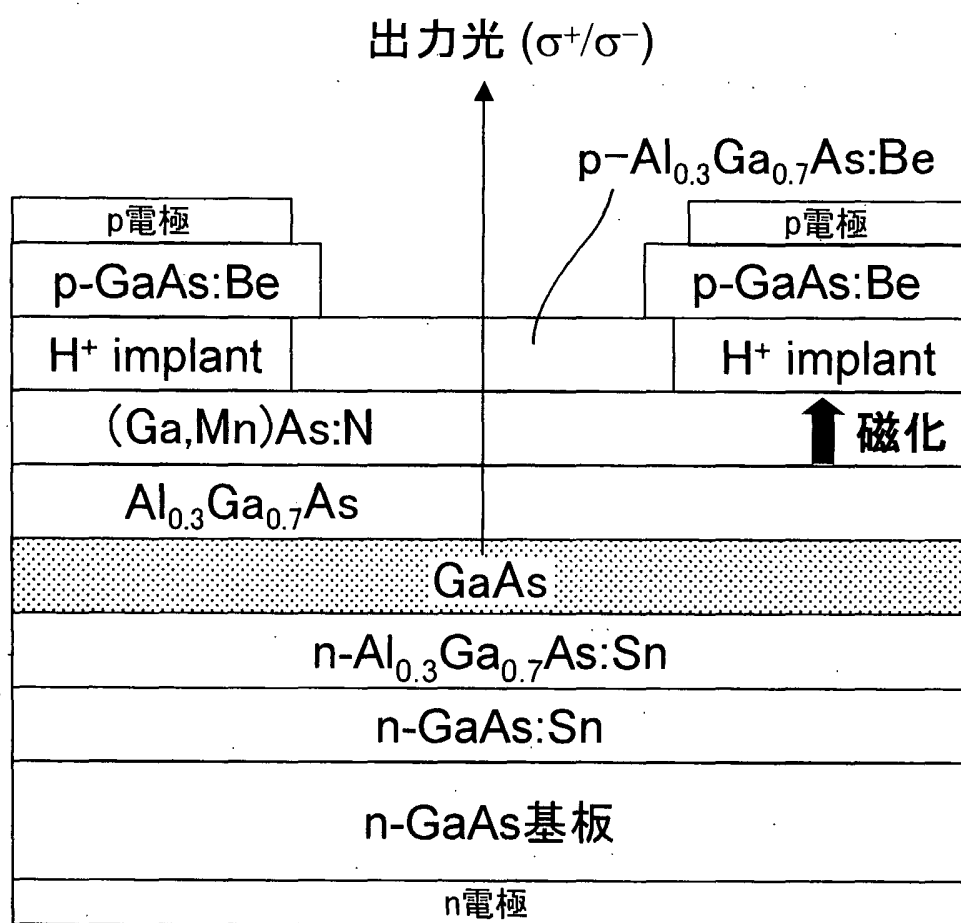


Fig. 4(b)

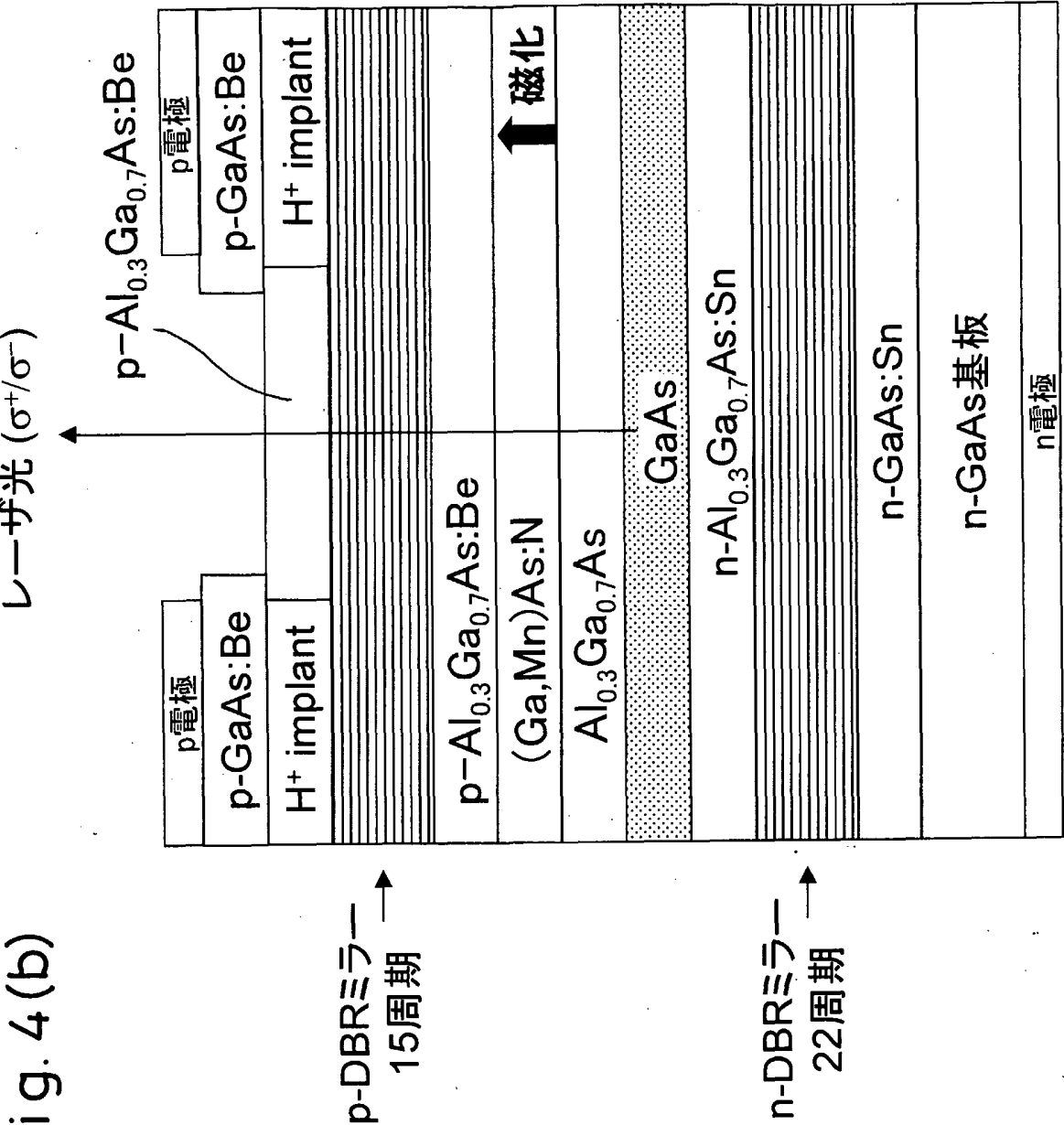


Fig. 4(c)

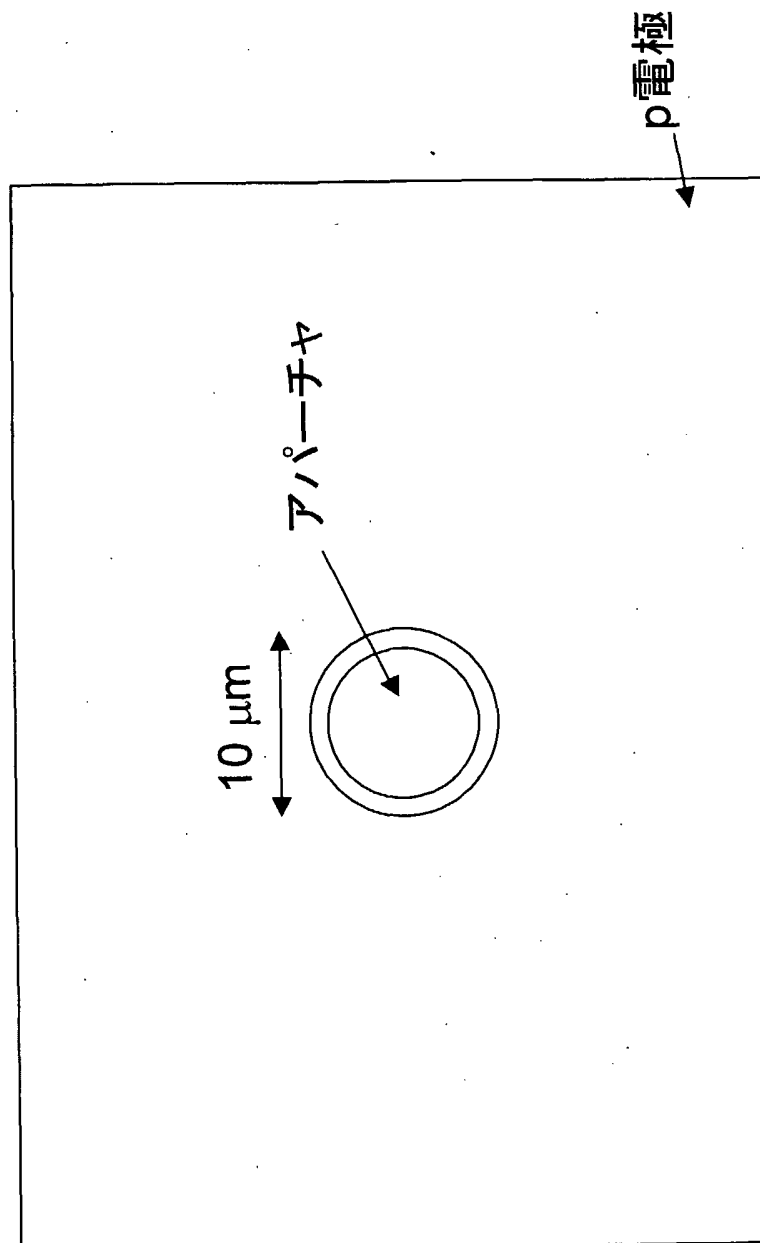


Fig.5(a)

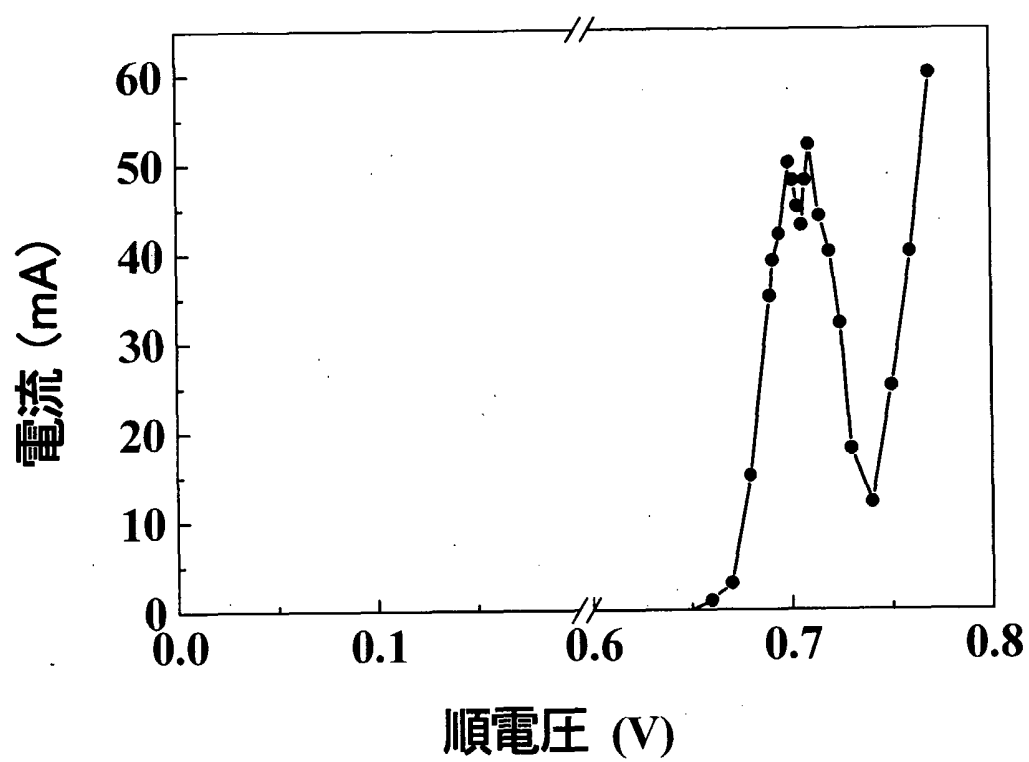


Fig.5(b)

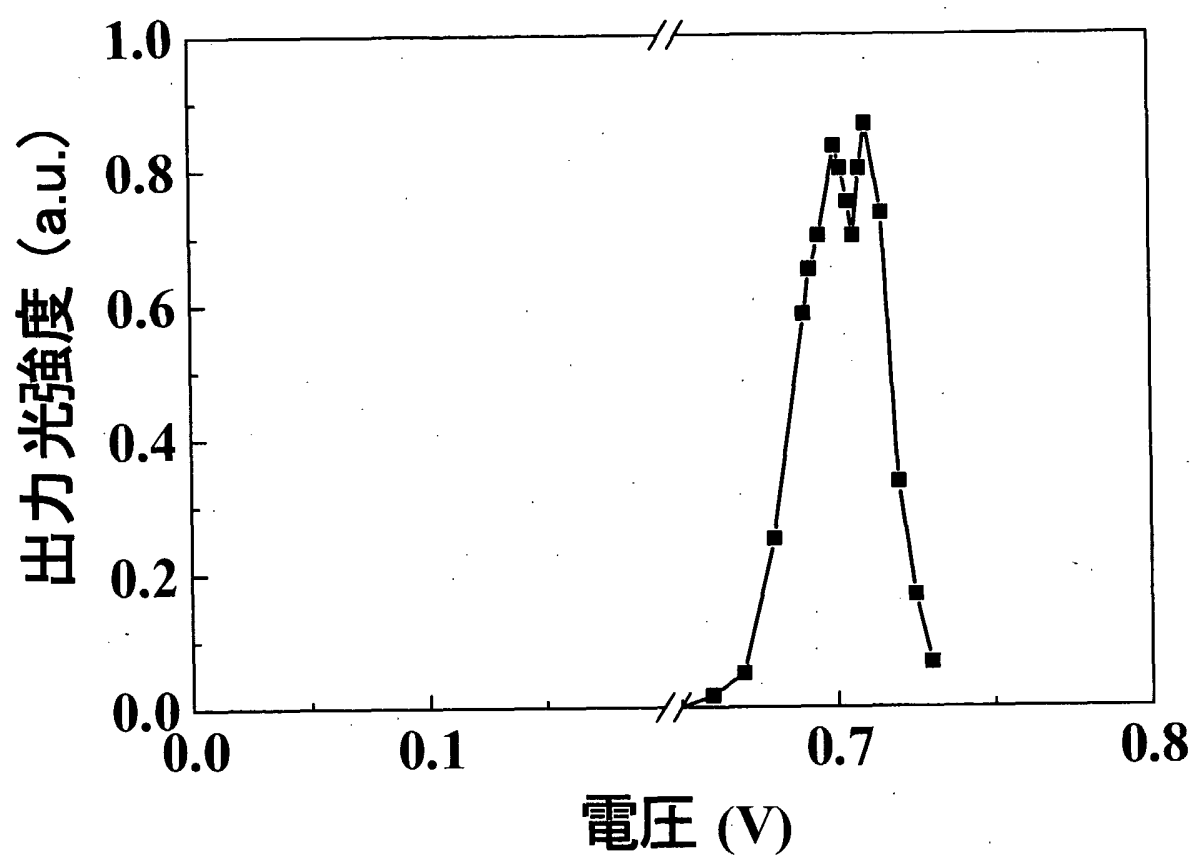


Fig. 5(c)

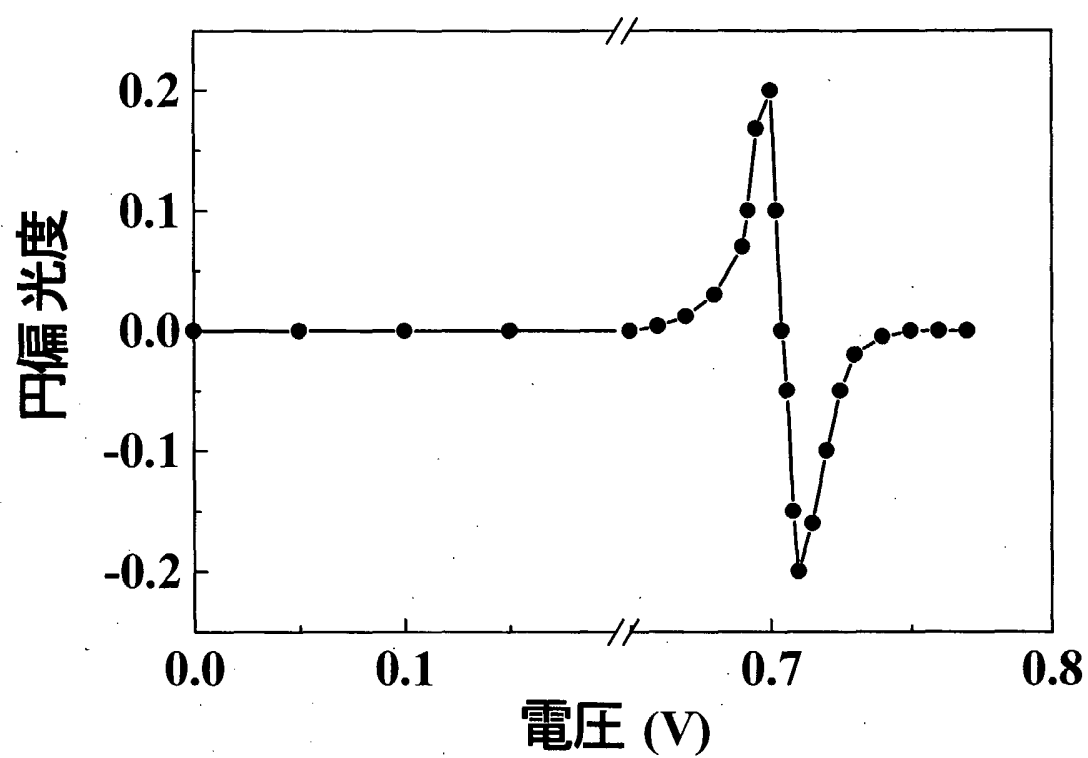


Fig. 6

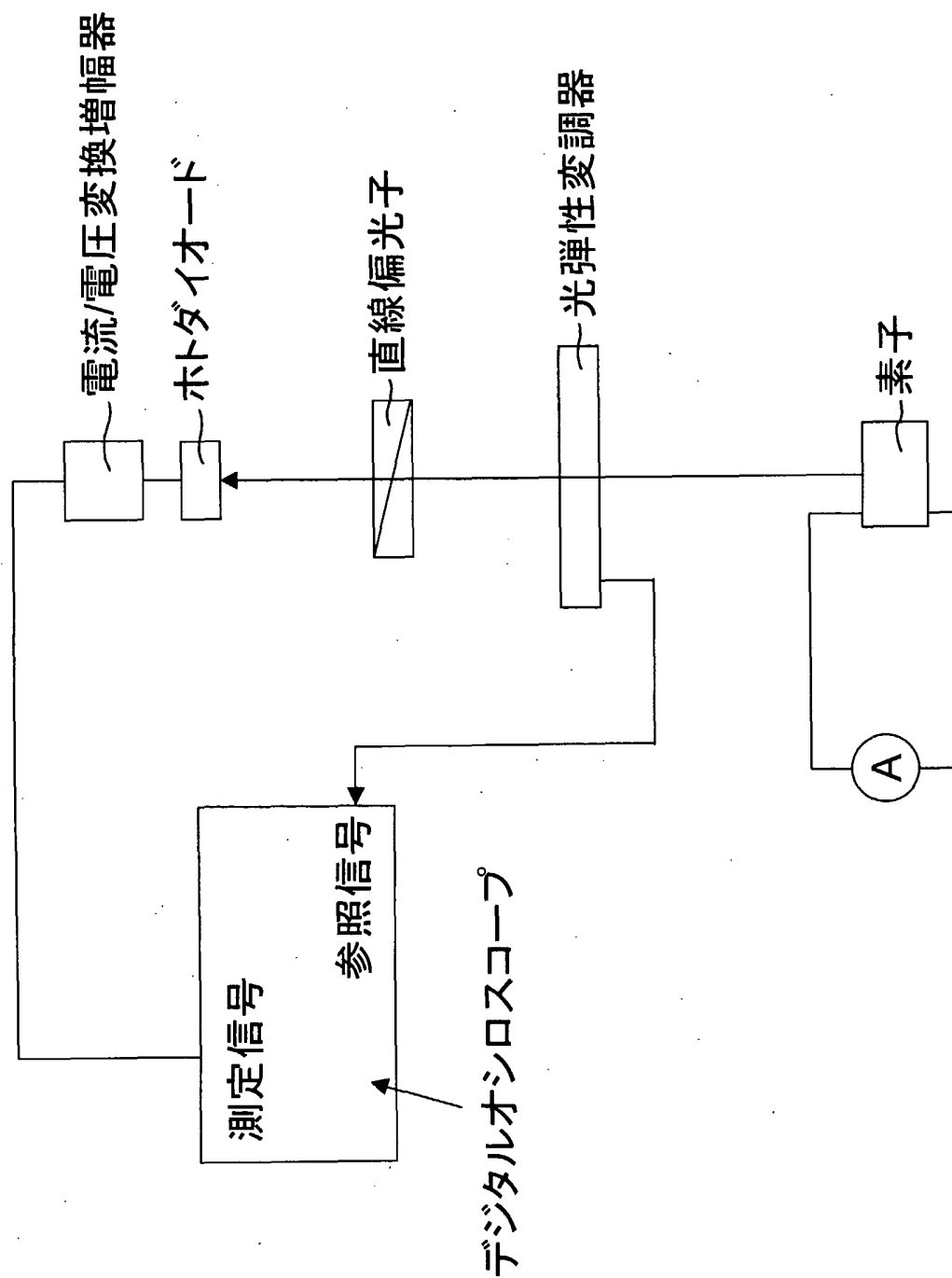


Fig. 7

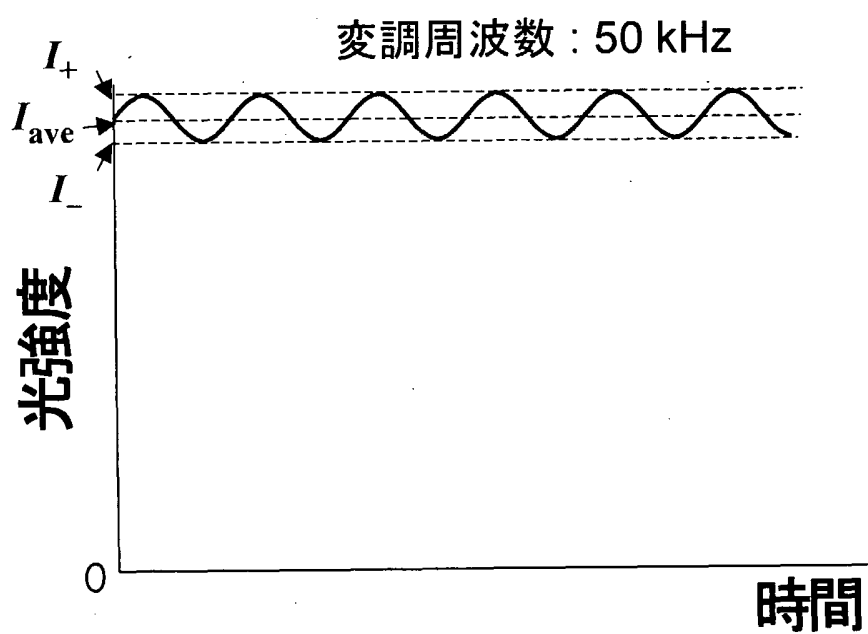


Fig. 8

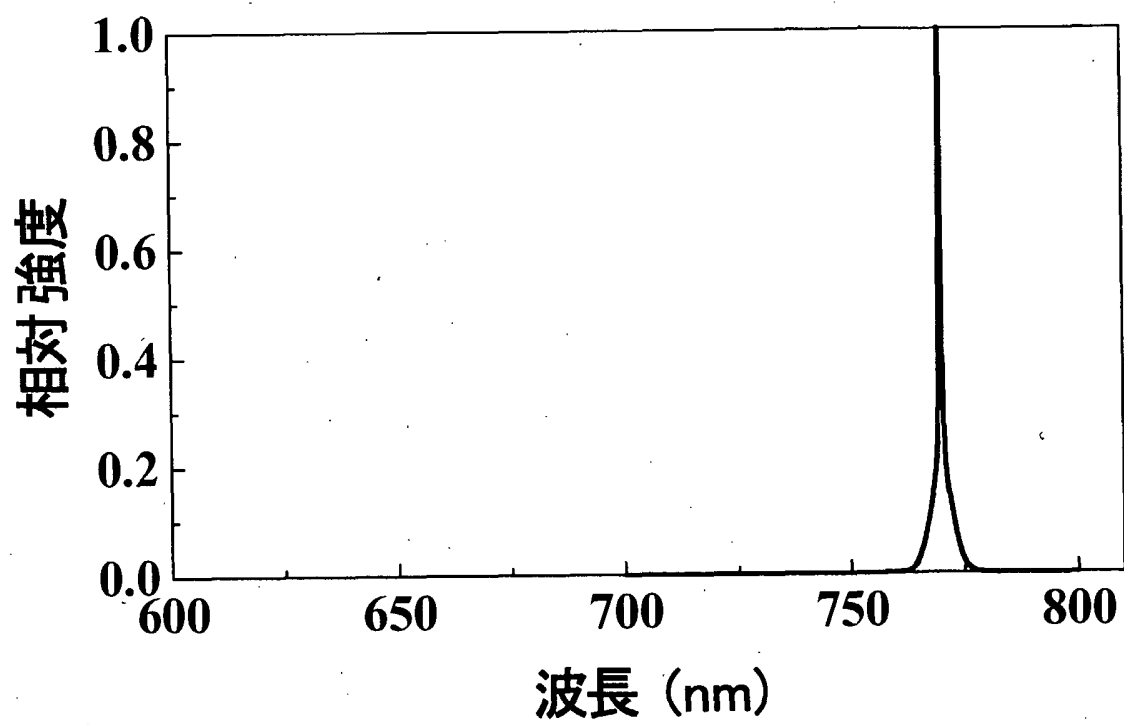


Fig.9

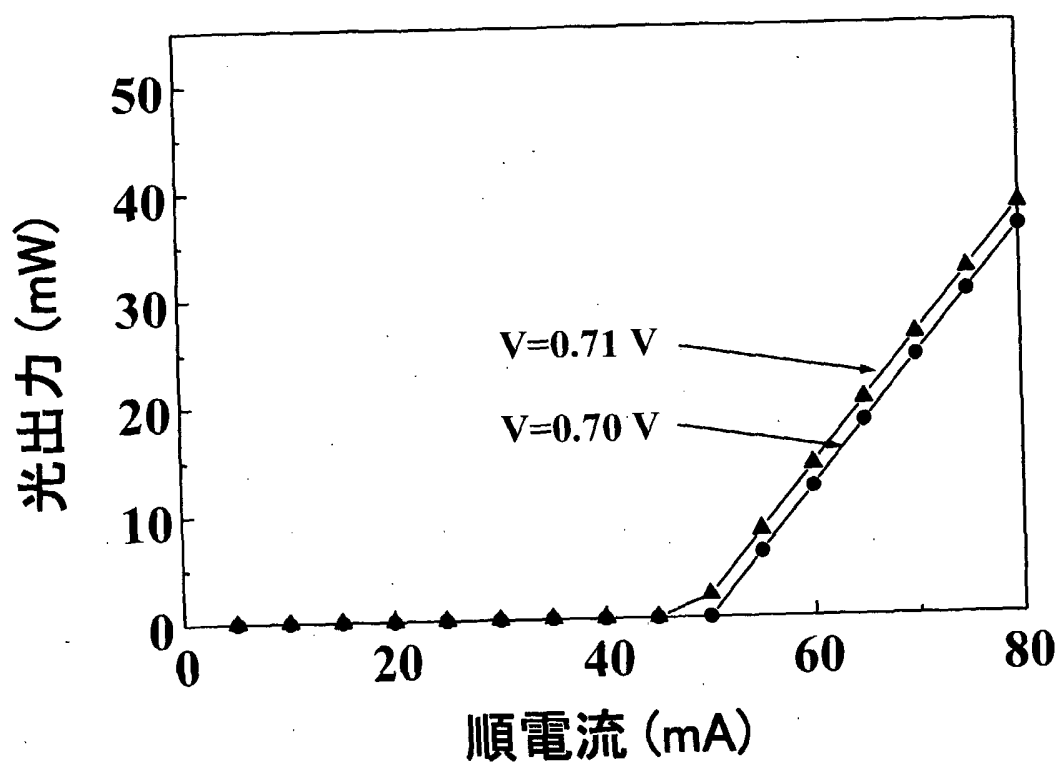


Fig.10

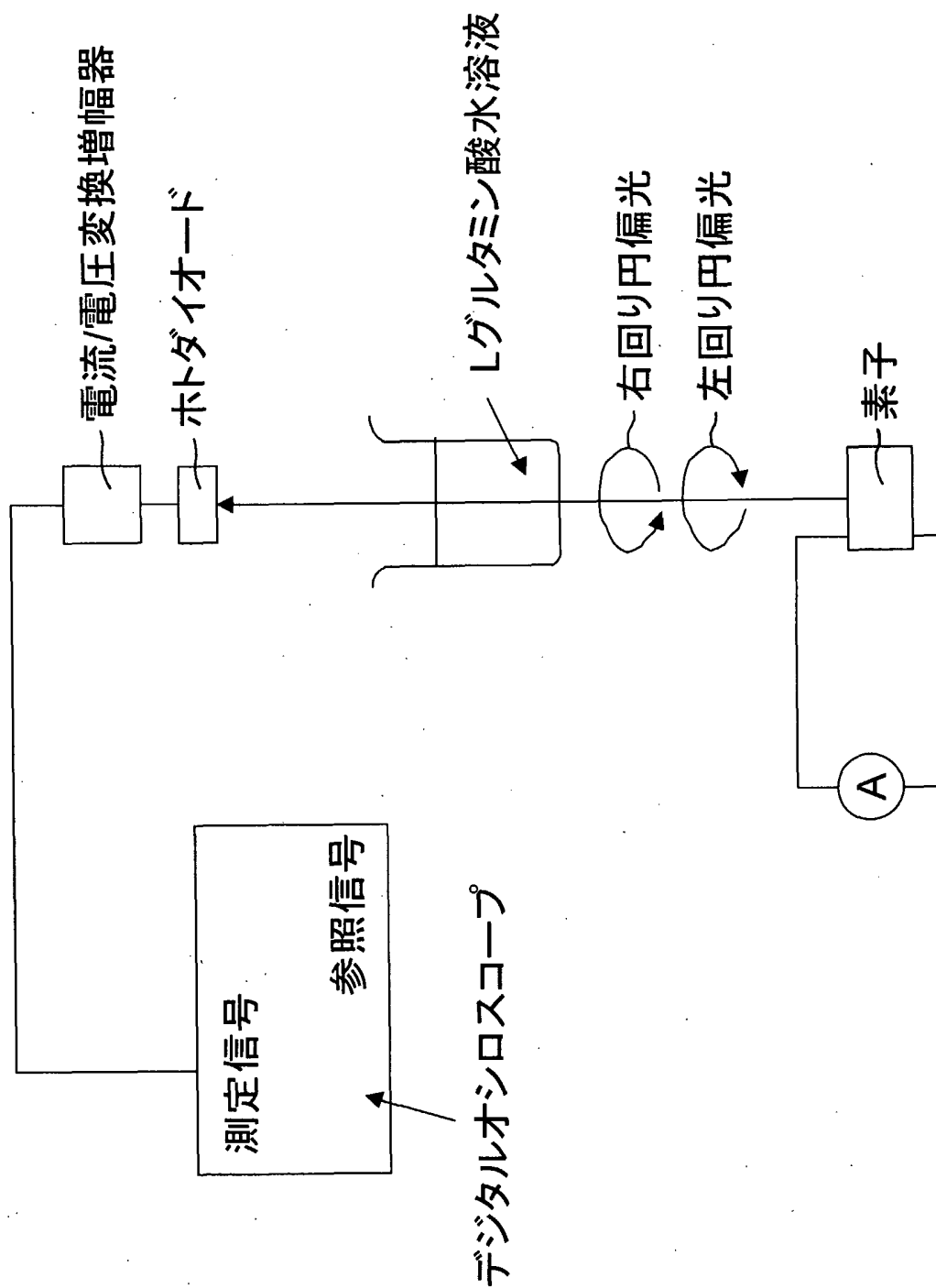
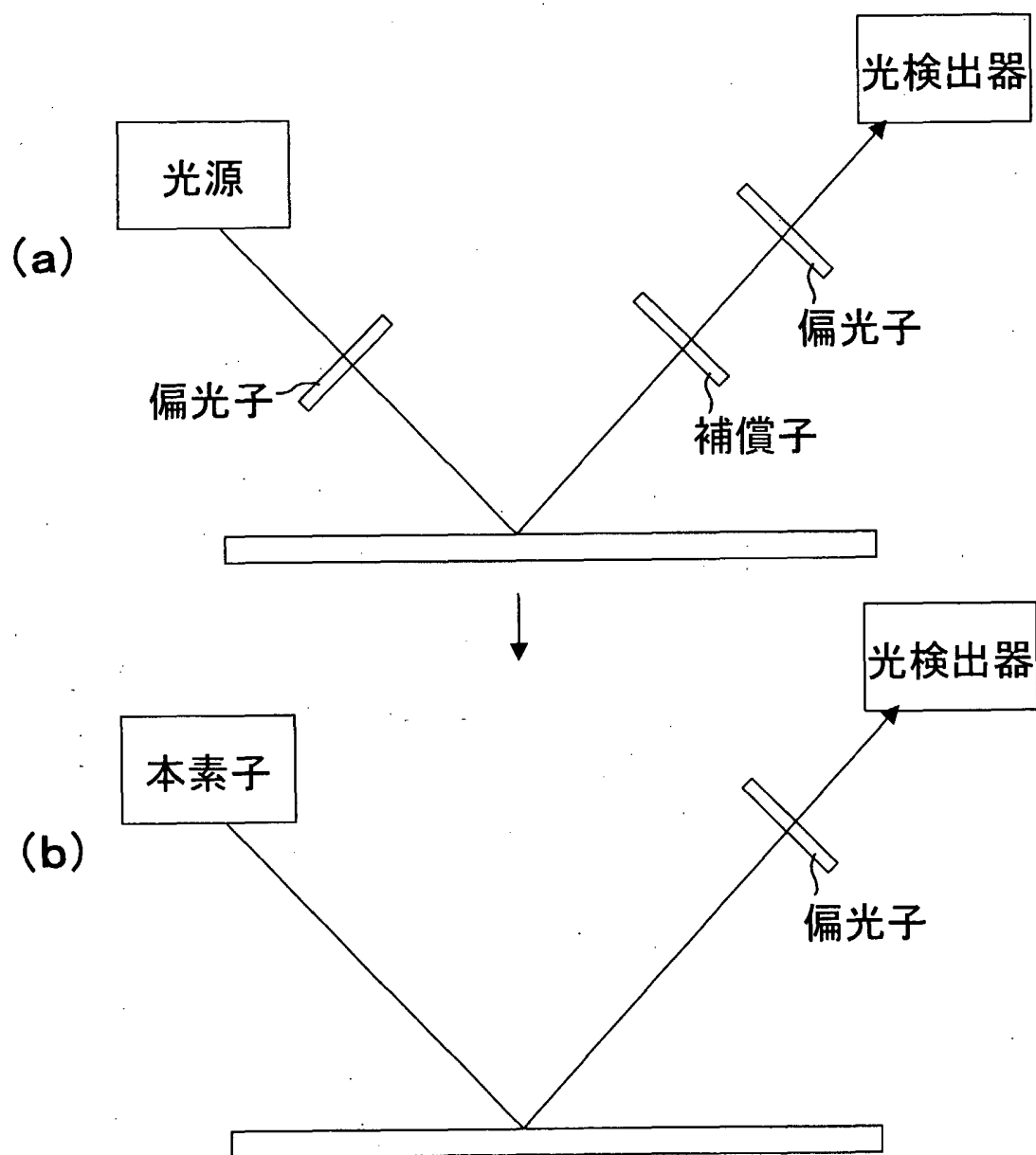


Fig.11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/301702

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L33/00(2006.01) , H01S5/343(2006.01)				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L33/00(2006.01) , H01S5/00-5/50(2006.01)				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JDream2)				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
X	JP 2003-224333 A (Japan Science and Technology Corp.) , 08 August, 2003 (08.08.03) , Full text; all drawings & WO 03/065525 A1 & EP 1478066 A1 & US 2005/0117617 A1	1-24		
X	Y. Ohno et al, Electrical spin injection in a ferromagnetic semiconductor heterostructure, NATURE, Vol.402, 1999, pages 790 to 792	1-24		
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.				
<table border="0"> <tr> <td> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search 24 April, 2006 (24.04.06)		Date of mailing of the international search report 02 May, 2006 (02.05.06)		
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer		
Facsimile No.		Telephone No.		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01L33/00(2006.01), H01S5/343(2006.01)			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01L33/00(2006.01), H01S5/00-5/50(2006.01)			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2006年 日本国実用新案登録公報 1996-2006年 日本国登録実用新案公報 1994-2006年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus(JDream2)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
X	JP 2003-224333 A（科学技術振興事業団）2003.08.08, 全文, 全図 & WO 03/065525 A1 & EP 1478066 A1 & US 2005/0117617 A1	1-24	
X	Y. Ohno et.al, Electrical spin injection in a ferromagnetic semiconductor heterostructure, NATURE, Vol.402, 1999, p.790-792	1-24	
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 24.04.2006		国際調査報告の発送日 02.05.2006	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 門田 かつよ	2K 9512
		電話番号 03-3581-1101 内線 3255	