

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年5月22日(22.05.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/100611 A1

(51) 国際特許分類:

G02B 6/122 (2006.01) *H01S 5/10* (2006.01)
H01L 33/06 (2010.01) *H01S 5/20* (2006.01)
H01S 5/042 (2006.01) *H01S 5/30* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/042779

(22) 国際出願日: 2019年10月31日(31.10.2019)

(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 2018-213551 2018年11月14日(14.11.2018) JP

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

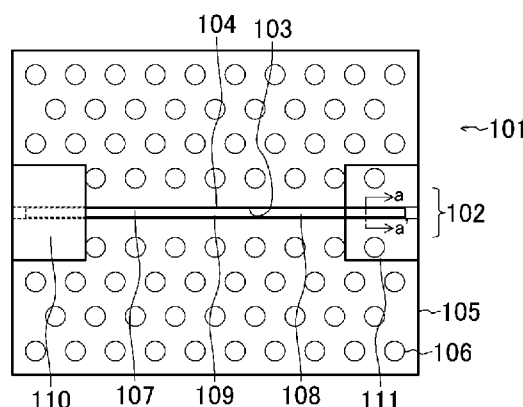
(72) 発明者: 滝口 雅人 (TAKIGUCHI, Masato); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 納富 雅也 (NOTOMI, Masaya); 〒1808585 東京都武蔵

野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 佐々木 智 (SASAKI, Satoshi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 館野 功太 (TATENNO, Kota); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 横尾 篤 (YOKOO, Atsushi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 章国強 (ZHANG, Guoqiang); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). シルヴァン セルジャン (SYLVAIN, Sergent); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 新家 昭彦 (SHINYA, Akihiko); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山川 茂樹, 外 (YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁

(54) Title: NANOWIRE OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: ナノワイヤ光デバイス



(57) **Abstract:** A nanowire optical device comprising: a plate-like photonic crystal body provided on a substrate; an optical waveguide composed of a plurality of linearly-disposed line defects constituted by portions with no lattice elements of the photonic crystal body; a groove formed in the optical waveguide along the wave-guide direction; a nanowire made from a semiconductor and arranged in the groove; an n-type region formed at one end of the nanowire; a p-type region formed at the other end of the nanowire; an active region formed between the n-type region and p-type region of the nanowire; a first electrode connected to the n-type region; and a second electrode connected to the p-type region. At least either a region in contact with the n-type region of the first electrode or a region in contact with the p-type region of the second electrode is made of a transparent electrode material.

目 1 1 番 1 号 山王パークタワー 4 階 山
川国際特許事務所内 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 基板上に設けられている板状のフォトニック結晶本体と、フォトニック結晶本体の格子要素がない部分から構成された欠陥を直線状に複数配列した線欠陥による光導波路と、光導波路に、導波方向に沿って形成された溝と、溝に配置された、半導体からなるナノワイヤと、ナノワイヤの一端側に形成された n 型領域と、ナノワイヤの他端側に形成された p 型領域と、ナノワイヤの n 型領域と p 型領域とに挟まれて形成された活性領域と、n 型領域に接続する第 1 電極と、p 型領域に接続する第 2 電極とを備え、第 1 電極の n 型領域に接する領域、および第 2 電極の p 型領域に接する領域の少なくとも一方は、透明電極材料から構成されているナノワイヤ光デバイス。

明 細 書

発明の名称： ナノワイヤ光デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、ナノワイヤ光デバイスに関し、より具体的には、半導体からなるナノワイヤを備えるナノワイヤ光デバイスに関する。

背景技術

[0002] 半導体を用いたナノワイヤは、非常に小さい一次元構造を有する光学素子として注目を集めている。このナノワイヤは、様々な半導体材料で作製することが可能であり、発光素子にあつては、発光波長の自由に変えることができる。また、ナノワイヤは、 $p-i-n$ 構造や量子井戸・量子ドットの埋め込み構造とすることができるため、レーザ、単一光子源、光受光器などに応用可能である。近年では、CMOS (Complementary metal oxide silicon) 技術に応用できるシリコン基板上に、化合物半導体によるナノワイヤを成長する集積化の研究も行われており、シリコン光導波路の任意の場所にナノワイヤを集積した、光電融合型プロセッサやオンチップ高感度センサなどへの応用が期待される。

[0003] ナノワイヤは、適切にワイヤ径を設計することで単一モード導波路とすることができる。また、ナノワイヤは、端面反射を利用することでレーザとして動作させることができる。さらに、ナノワイヤの構造の持つアンテナの効果を利用することで、フォトディテクタなど光学素子にも応用できる。しかしながら、ナノワイヤ単体での動作は、共振器Q値が小さいためにレーザ発振の閾値が高くなり、また、多モード発振するなどの課題がある。このため、近年では、光学特性を自由に制御でき光閉じ込め効果の大きい2次元フォトリソニック結晶と化合物ナノワイヤを組み合わせることで、ナノワイヤレーザの単一モード発振などが実現されてきた（非特許文献1参照）。

[0004] この技術では、図9A、図9Bに示すように、2次元フォトリソニック結晶本体501に線欠陥による光導波路502を作製し、光導波路502の中に形

成された溝503にナノワイヤ504を配置したハイブリッド構造としている。2次元フォトリック結晶本体501は、よく知られているように、板状の基部505と、基部505に周期的に設けられた複数の格子要素506とから構成されている。例えば、原子間力顕微鏡のプローブ521を用い、ナノワイヤ504を、溝503に配置する。溝503のナノワイヤ504が配置された箇所では、光が強く閉じ込められるようになる。

[0005] 上述したようなナノワイヤを所定の箇所に配置するためには、まず、ナノワイヤを基板の上に配置することになる。この技術には、インクジェットによる塗布や、マイクロマニピュレータによる方法がある。また、基板の上に配置されたナノワイヤを溝に配置させるためには、上述した原子間力顕微鏡や、光ピンセットやマイクロマニピュレータなどを用い、ナノワイヤをマニピュレーションする。また、直接シリコン基板上に異種材料のナノワイヤを成長させることで、溝にナノワイヤが配置される状態とすることも可能である。上述したフォトリック結晶の溝にナノワイヤを配置する技術は、レーザ発振や量子光学効果を観測することを可能にしたという点で一定の成功を収めている。

[0006] このようなフォトリック結晶を用いたナノワイヤ光デバイスに、適切な電極構造を形成し、例えば電流注入構造を導入することは、将来のオンチップ光集積化素子などを実現する上で重要である。ナノワイヤを用いれば、ナノワイヤ自体の静電容量が非常に小さいため、ナノワイヤ光デバイスを高速に動作させることができる。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1: M. Takiguchi, A. Yokoo, K. Nozaki, M. D. Birowosuto, K. Tateno, G. Zhang, E. Kuramochi, A. Shinya, and M. Notomi, "Continuous-wave operation and 10-Gb/s direct modulation of InAsP/InP subwavelength nanowire laser on silicon photonic crystal", APL Photonics, vol. 2, no. 4, 046106, 2017.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] しかしながら、ナノワイヤ光デバイスに電極を形成すると、ナノワイヤが配置される光導波路構造における、導波損失を招くという問題がある。ここで、ナノワイヤ光デバイスの電極を設ける構成について、図10を参照して説明する。
- [0009] このナノワイヤ光デバイスは、図9A、図9Bを用いて説明したフォトニック結晶本体501と同様に、フォトニック結晶本体501に設けられた光導波路502と、光導波路502に形成された溝503と、溝503に配置されたナノワイヤ504とを備える。フォトニック結晶本体501は、板状の基部505と、複数の格子要素506とを備えている。
- [0010] また、ナノワイヤ504の一端側には、n型領域507が形成され、ナノワイヤ504の他端側には、p型領域508が形成されている。n型領域507およびp型領域508は、各々対応する不純物を導入することで形成されている。また、ナノワイヤ504のn型領域507とp型領域508とに挟まれた領域には、活性領域509が形成されている。活性領域509は、例えば、多重量子井戸構造とされている。
- [0011] また、n型領域507には、金属からなる第1電極510が接続され、p型領域508には、金属からなる第2電極511が接続されている。第1電極510、第2電極511を電源（不図示）に接続し、ナノワイヤ504に電流を流して、活性領域509にキャリアを注入することができ、活性領域509を発光させることができる。
- [0012] 上述したナノワイヤ光デバイスでは、例えば、活性領域509で生成された光を、光導波路502に導波させようとする、金属からなる第1電極510や第2電極511で光が吸収され、導波光の損失が発生することになる。このため、線欠陥による迂回光導波路502aを設け、活性領域509で生成された光を、迂回光導波路502aに導波させて取り出すようにする。
- [0013] しかしながら、迂回光導波路502aを用いても、曲げ構造の迂回光導波

路502aによる導波光の損失が発生する他に、導波光の帯域が狭くなるなどの問題がある。また、金属からなる電極による光の吸収を抑制するためには、電極を活性領域509からより離すことになる。しかしながら、電極と活性領域509との距離が長くなれば長くなるほど、活性領域509と電極との間の抵抗値が上がり、電流注入の効率が低下する。

[0014] 本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、活性領域と電極との間隔を広げることなく、ナノワイヤ光デバイスにおける光の損失を抑制することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明に係るナノワイヤ光デバイスは、基部および基部とは異なる屈折率を有する柱状の複数の格子要素を備え、複数の格子要素は、基部上に、対象とする光の波長以下の間隔で周期的に設けられている板状のフォトニック結晶本体と、フォトニック結晶本体の格子要素がない部分から構成された欠陥を直線状に複数配列した線欠陥による光導波路と、光導波路に、導波方向に沿って形成された溝と、溝に配置された、半導体からなるナノワイヤと、ナノワイヤの一端側に形成されたn型領域と、ナノワイヤの他端側に形成されたp型領域と、ナノワイヤのn型領域とp型領域とに挟まれて形成された活性領域と、n型領域に接続する第1電極と、p型領域に接続する第2電極とを備え、第1電極のn型領域に接する領域、および第2電極のp型領域に接する領域の少なくとも一方は、透明電極材料から構成されている。

[0016] 請求項1記載のナノワイヤ光デバイスの一構成例において、溝は、平面視で、第1電極、および第2電極の少なくとも一方の透明電極材料から構成されている領域において、ナノワイヤの幅より広く形成されている。

[0017] 上記ナノワイヤ光デバイスの一構成例において、第1電極のn型領域に接続する領域、および第2電極のp型領域に接続する領域の少なくとも一方の透明電極材料から構成されている領域は、ナノワイヤの上面に加えて、溝の側面に向かい合うナノワイヤの側面に透明電極材料が接して形成されている。

[0018] 上記のナノワイヤ光デバイスの一構成例において、溝の幅は、平面視で、第1電極、および第2電極の少なくとも一方の透明電極材料から構成されている領域において、活性領域から離れるほど広くなる。

[0019] 上記ナノワイヤ光デバイスの一構成例において、活性領域に光を閉じ込めるための光閉じ込め構造をさらに備え、光閉じ込め構造は、光導波路に活性領域を挟んで形成されている。

発明の効果

[0020] 以上説明したように、本発明によれば、第1電極のn型領域に接続する領域、および第2電極のp型領域に接続する領域の少なくとも一方を、透明電極材料から構成したので、活性領域と電極との間隔を広げることなく、ナノワイヤ光デバイスにおける光の損失が抑制できるという優れた効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1A]図1Aは、本発明の実施の形態1に係るナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図1B]図1Bは、本発明の実施の形態1に係るナノワイヤ光デバイスの構成を示す断面図である。

[図2A]図2Aは、本発明の実施の形態2に係るナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図2B]図2Bは、本発明の実施の形態2に係るナノワイヤ光デバイスの構成を示す断面図である。

[図3]図3は、厚さ数nm、幅5 μ mのZnOからなる透明電極材料を溝103に配置されているナノワイヤ104の上に形成した場合(b)と、透明電極材料を形成しない場合(a)との間の波長シフトの測定結果を示す特性図である。

[図4]図4は、幅を100nmとした溝103と(a)、幅を150nmとした溝103aと(b)の間の波長シフトの測定結果を示す特性図である。

[図5A]図5Aは、本発明の実施の形態に係る他のナノワイヤ光デバイスの構

成を示す平面図である。

[図5B]図5Bは、本発明の実施の形態に係る他のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図5C]図5Cは、本発明の実施の形態に係る他のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態に係る他のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図7]図7は、本発明の実施の形態に係る他のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態に係る他のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図9A]図9Aは、従来のナノワイヤ光デバイスの構成を示す斜視図である。

[図9B]図9Bは、従来のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

[図10]図10は、従来のナノワイヤ光デバイスの構成を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施の形態に係るナノワイヤ光デバイスについて説明する。

[0023] [実施の形態1]

はじめに、本発明の実施の形態1におけるナノワイヤ光デバイスについて図1A、図1Bを参照して説明する。なお、図1Bは、図1Aのa-a'線の断面を示している。

[0024] このナノワイヤ光デバイスは、フォトニック結晶本体101と、フォトニック結晶本体101に設けられた光導波路102と、光導波路102に形成された溝103と、溝103に配置されたナノワイヤ104とを備える。フォトニック結晶本体101は、例えば、シリコンから構成することができる。ナノワイヤ104は、半導体から構成されている。ナノワイヤ104は、例えばInPなどの化合物半導体から構成することが可能である。

[0025] フォトニック結晶本体101は、板状の基部105と、複数の格子要素1

１０６とを備えている。格子要素１０６は、屈折率が基部１０５とは異なるものとされている。基部１０５は、例えばＩｎＰから構成され、格子要素１０６は、例えば、円柱状の貫通孔である。

複数の格子要素１０６は、対象とする光の波長以下の間隔で周期的に設けられ、例えば平面視で三角格子状に配列している。光導波路１０２は、線欠陥から構成されている。線欠陥は、フォトリソニック結晶本体１０１の格子要素１０６がない部分から構成された欠陥（点欠陥）を直線状に複数配列したものである。このように構成された光導波路１０２の導波方向に、溝１０３は延在している。

[0026] また、ナノワイヤ１０４の一端側には、ｎ型領域１０７が形成され、ナノワイヤ１０４の他端側には、ｐ型領域１０８が形成されている。ｎ型領域１０７およびｐ型領域１０８は、各々対応する不純物を導入することで形成することができる。また、ナノワイヤ１０４のｎ型領域１０７とｐ型領域１０８とに挟まれた領域には、活性領域１０９が形成されている。活性領域１０９は、例えば、多重量子井戸構造を有している。例えば、ＩｎＡｓＰからなる量子井戸層とＩｎＰからなる障壁層とがナノワイヤ１０４の延在方向に交互に積層した多重量子井戸構造を形成して活性領域１０９とすることができる。活性領域１０９を多重量子井戸構造とした場合、ＩｎＡｓＰからなる量子井戸層が活性層として機能する。

[0027] また、実施の形態１におけるナノワイヤ光デバイスは、ｎ型領域１０７に接続する第１電極１１０と、ｐ型領域１０８に接続する第２電極１１１とを備える。第１電極１１０は、溝１０３の開口端におけるｎ型領域１０７の上面に接している。また、第２電極１１１は、溝１０３の開口端におけるｐ型領域１０８の上面に接している。第２電極１１１の少なくともｐ型領域１０８に接する領域は、透明電極材料から構成されている。第２電極１１１は、全体を透明電極材料から構成することもできる。透明電極材料から構成した第２電極１１１は、光導波路１０２の直上や、フォトリソニック結晶本体１０１の上に配置することが可能である。

[0028] 透明電極材料は、例えば、ITO (Indium Tin Oxide) や ZnO から構成することができる。なお、第1電極110の少なくともn型領域107に接続（接触）する領域を、透明電極材料から構成することもできる。この場合においても、第1電極110は、全体を透明電極材料から構成することもできる。

[0029] 実施の形態1によれば、例えば、活性領域109で生成された光が、光導波路102を第2電極111の方向に導波するとき、第2電極111で吸収されることがなく、導波光の損失が発生しない。このため、実施の形態1によれば、活性領域109で生成された光は、導波光の損失無く、光導波路102の第2電極111の方向に導波させることができるので、曲げ導波路を導入する必要がなく、曲げ導波路を用いることによる導波損失もない。

[0030] さらに、透明電極材料から構成した第2電極111は、活性領域109に近づけて配置することができ、活性領域109と第2電極111との間の抵抗値を下げることができるので、電流注入の効率の低下が抑制できる。また、光学特性に影響する第2電極111の少なくともp型領域108に接続（接触）する領域は、透明電極材料から構成し、第2電極111の他の領域は、金属から構成することも可能である。透明電極材料は金属に対して抵抗率が高いが、透明電極材料の部分を光学特性に影響する箇所限定し、他の領域を金属から構成することで、第2電極111の全体の抵抗を下げることもできる。なお、これらのことは、第1電極110を透明電極材料から構成する場合も同様である。活性領域109で生成された光は、導波光の損失無く、光導波路102の第1電極110の方向に導波させることもできる。

[0031] 実施の形態1に係るナノワイヤ光デバイスは、例えば、第1電極110、第2電極111により活性領域109に電流注入することで、活性領域109を発光させる発光素子として機能させることができる。また、n型領域107、活性領域109、およびp型領域108をいわゆるpin構造としたフォトダイオードとして機能させることもできる。

[0032] [実施の形態2]

次に、本発明の実施の形態2に係るナノワイヤ光デバイスについて、図2A、図2Bを参照して説明する。なお、図2Bは、図2Aのa a'線の断面を示している。

[0033] 実施の形態2においても、n型領域107に接続する第1電極110aと、p型領域108に接続する第2電極111aとを備える。また、第2電極111aの少なくともp型領域108に接続（接触）する領域は、透明電極材料から構成されている。実施の形態2では、第2電極111aのp型領域108に接続する領域の透明電極材料から構成されている領域では、溝103aの幅がナノワイヤ104の幅より広くされている。なお、実施の形態2では、第1電極110aのn型領域107に接続する領域でも、溝103bの幅をナノワイヤ104の幅より広くしている。

[0034] また、実施の形態2において、図2Bに示すように、第2電極111aの透明電極材料から構成されている領域は、ナノワイヤ104の上面に加え、溝103aの側面に向かい合うナノワイヤ104の側面にも接して形成されている。なお、第1電極110aを透明電極材料から構成する場合も、第1電極110aの透明電極材料から構成されている領域は、ナノワイヤ104の上面に加えて溝103bの側面に向かい合うナノワイヤ104の側面に接して形成されている構成とすることができる。

[0035] ナノワイヤ104の上面のみで透明電極材料から構成されている第2電極111aが接続（接触）している状態に比較し、溝103aの側面に向かい合うナノワイヤ104の側面にも透明電極材料が接していることで、抵抗値を下げることができる。例えば、電極を蒸着法やスパッタ法により形成する場合、溝103aの幅をナノワイヤ104の幅より広くしておけば、ナノワイヤ104の側面にも、電極材料を堆積して形成することができる。

[0036] ところで、透明電極材料は、フォトニック結晶本体101と異なる誘電率を有するため、溝103にナノワイヤ104を配置した光導波路102では、透明電極材料を配置することで光学特性が変わる。図3に、厚さ数nm、幅5 μ mのZnOからなる透明電極材料を溝103に配置されているナノワ

イヤ104の上に形成した場合と、透明電極材料を形成しない場合との間の波長シフトの測定結果を示す。図3に示すように、透明電極材料を形成しない場合(a)に比較し、透明電極材料を形成した場合(b)は、20nm程度の長波長側への波長シフトしかない。このように、透明電極材料を用いても、波長シフトが小さく、また、前述したように、導波損失(透過損失)も小さいため、ナノワイヤ光デバイスの光学特性を大きく損なうことはない。

[0037] また、溝103にナノワイヤ104を配置した光導波路102では、より幅を広くした溝103aにおいて、光学特性が変わる。図4に、平面視の幅を100nmとした溝103と、平面視の幅を150nmとした溝103aとの間の波長シフトの測定結果を示す。図4に示すように、幅を100nmとした溝103(a)に対し、幅を150nmとした溝103a(b)は、短波長側へ10~20nm程度しかシフトしない。このように、溝の幅を広くしても、幅を広くしたことによる波長シフトが小さいので、ナノワイヤ光デバイスの光学特性を大きく損なうことはない。また、前述したように、幅を広くした溝において透明電極材料を形成することで、短波長側への波長シフトが、長波長側への波長シフトにより相殺されるので、透過帯域を狭めることがない。

[0038] ところで、溝103のナノワイヤ104が配置された箇所では、光が強く閉じ込められるが、この構成では、光閉じ込めがナノワイヤ104の全体にわたる領域となり、共振器が作れず、ナノワイヤ光デバイスをレーザとして用いることができない。これに対し、図5Aに示すように、ナノワイヤ104の活性領域109に光を閉じ込める光閉じ込め構造112を設けることで、共振器が構成できる。

[0039] 光閉じ込め構造112は、フォトニック結晶本体101に形成された基部105とは異なる屈折率の柱状の構造体を、光導波方向に周期的に配置すればよい。なお、図5Bに示すように、直方体状の貫通孔による光閉じ込め構造112aであってもよい。また、図5Cに示すように、溝103と、光導波路102に隣接する格子要素106の列との間に配置した貫通孔による光

閉じ込め構造 1 1 2 b であってもよい。このように光閉じ込め構造 1 1 2 を設けることで、共振器 Q 値を、1 0 0 0 0 を超える値にすることが可能となる。

[0040] また、図 6 に示すように、透明電極材料から構成した第 2 電極 1 1 1 を配置した領域において、溝 1 0 3 に隣接する格子要素 1 0 6 a を、溝 1 0 3 から離れる方向にシフトさせることで、この領域の光学特性を調整することが可能となる。

[0041] また、図 7 に示すように、透明電極材料から構成した第 2 電極 1 1 1 b は、平面視で光導波路 1 0 2 の平面視で幅方向の内側で光導波路 1 0 2 に沿って配置することが可能である。第 2 電極 1 1 1 b は、溝 1 0 3 に隣接して光導波路 1 0 2 に並列する 2 列の格子要素 1 0 6 の列の間に配置される。

[0042] また、図 8 に示すように、第 2 電極 1 1 1 c の p 型領域に接続する領域では、平面視で溝 1 0 3 c の幅を、活性領域 1 0 9 から離れるほど広くすることができる。同様に、第 1 電極 1 1 0 a の n 型領域 1 0 7 に接続する領域では、平面視で溝 1 0 3 d の幅を、活性領域 1 0 9 から離れるほど広くすることができる。溝 1 0 3 c は、平面視で、第 1 電極 1 1 0 a の透明電極材料から構成されている領域に形成されている。溝 1 0 3 d も、平面視で、第 2 電極 1 1 1 c の透明電極材料から構成されている領域に形成することができる。

[0043] 以上に説明したように、本発明によれば、第 1 電極の n 型領域に接続する領域、および第 2 電極の p 型領域に接続する領域の少なくとも一方を、透明電極材料から構成したので、活性領域と電極との間隔を広げることなく、ナノワイヤ光デバイスにおける光の損失が抑制できるようになる。

[0044] なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

符号の説明

[0045] 1 0 1 … フォトニック結晶本体、1 0 2 … 光導波路、1 0 3 … 溝、1 0 4

…ナノワイヤ、105…基部、106…格子要素、107…n型領域、108…p型領域、110…第1電極、111…第2電極。

請求の範囲

[請求項1]

基部および前記基部とは異なる屈折率を有する柱状の複数の格子要素を備え、前記複数の格子要素は、前記基部上に、対象とする光の波長以下の間隔で周期的に設けられている板状のフォトリソニック結晶本体と、

前記フォトリソニック結晶本体の前記格子要素がない部分から構成された欠陥を直線状に複数配列した線欠陥による光導波路と、

前記光導波路に、導波方向に沿って形成された溝と、

前記溝に配置された、半導体からなるナノワイヤと、

前記ナノワイヤの一端側に形成されたn型領域と、

前記ナノワイヤの他端側に形成されたp型領域と、

前記ナノワイヤの前記n型領域と前記p型領域とに挟まれて形成された活性領域と、

前記n型領域に接続する第1電極と、

前記p型領域に接続する第2電極と

を備え、

前記第1電極の前記n型領域に接する領域、および前記第2電極の前記p型領域に接する領域の少なくとも一方は、透明電極材料から構成されている

ことを特徴とするナノワイヤ光デバイス。

[請求項2]

請求項1記載のナノワイヤ光デバイスにおいて、

前記溝は、平面視で、前記第1電極、および前記第2電極の少なくとも一方の前記透明電極材料から構成されている領域において、前記ナノワイヤの幅より広く形成されている

ことを特徴とするナノワイヤ光デバイス。

[請求項3]

請求項2記載のナノワイヤ光デバイスにおいて、

前記第1電極の前記n型領域に接続する領域、および前記第2電極の前記p型領域に接続する領域の少なくとも一方の前記透明電極材料

から構成されている領域は、

前記ナノワイヤの上面に加えて前記溝の側面に向かい合う前記ナノワイヤの側面に前記透明電極材料が接して形成されている

ことを特徴とするナノワイヤ光デバイス。

[請求項4]

請求項1～3のいずれか1項に記載のナノワイヤ光デバイスにおいて、

前記溝の幅は、平面視で、前記第1電極、および前記第2電極の少なくとも一方の前記透明電極材料から構成されている領域において、前記活性領域から離れるほど広くなる

ことを特徴とするナノワイヤ光デバイス。

[請求項5]

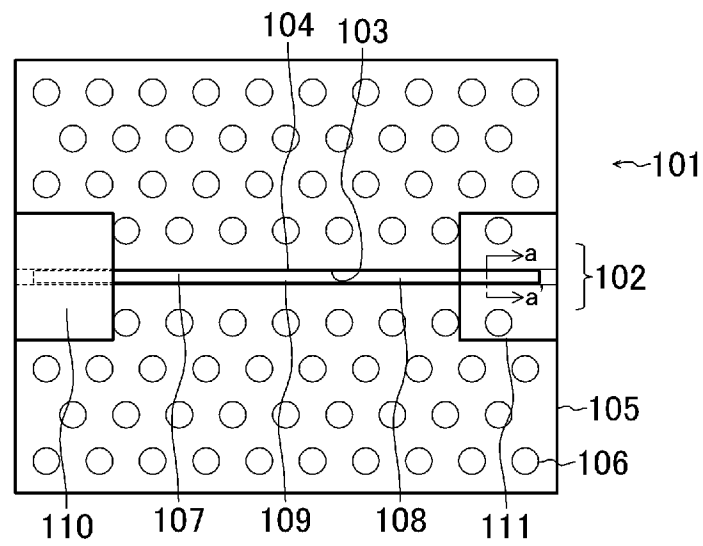
請求項1～4のいずれか1項に記載のナノワイヤ光デバイスにおいて、

前記活性領域に光を閉じ込めるための光閉じ込め構造をさらに備え、

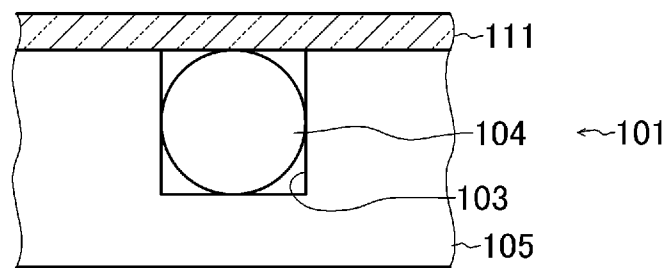
前記光閉じ込め構造は、前記光導波路に前記活性領域を挟んで形成されている

ことを特徴とするナノワイヤ光デバイス。

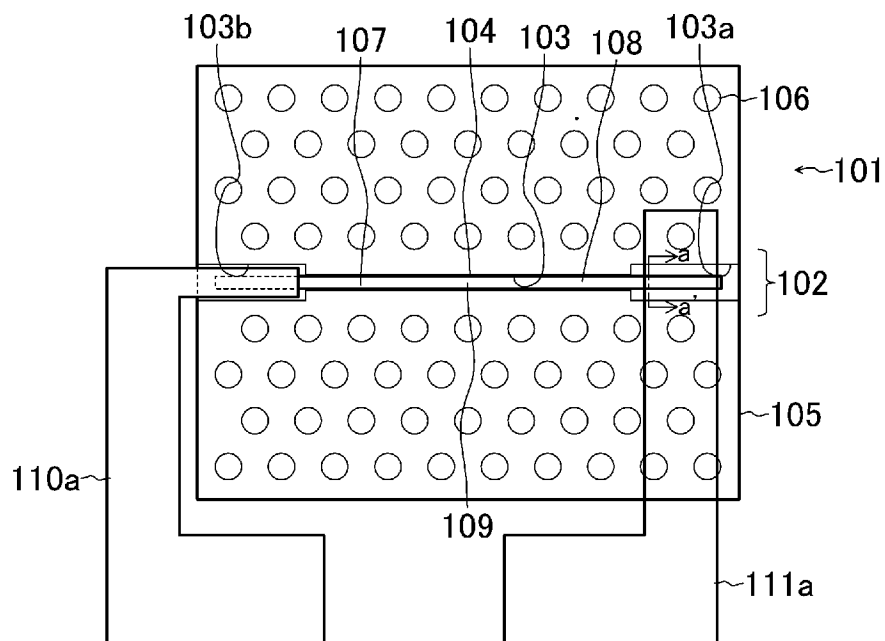
[図1A]



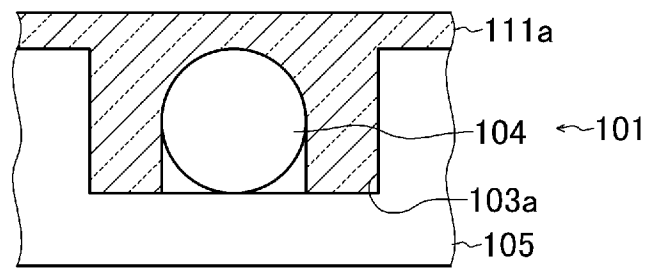
[図1B]



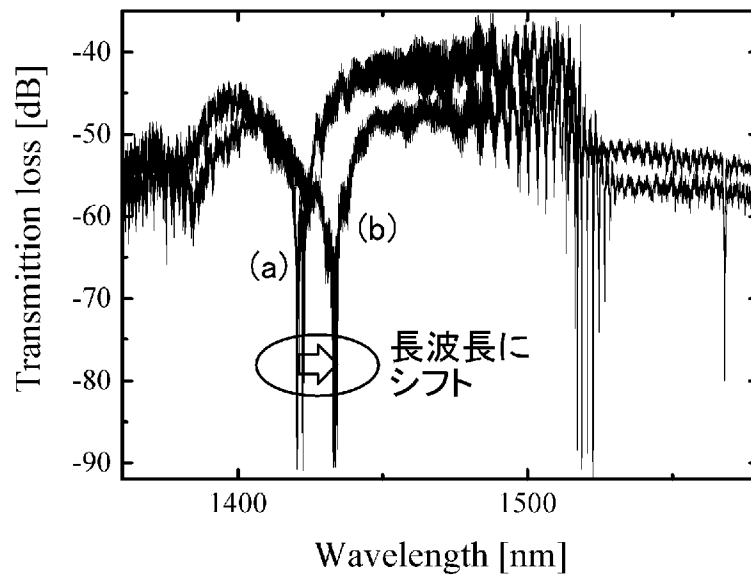
[図2A]



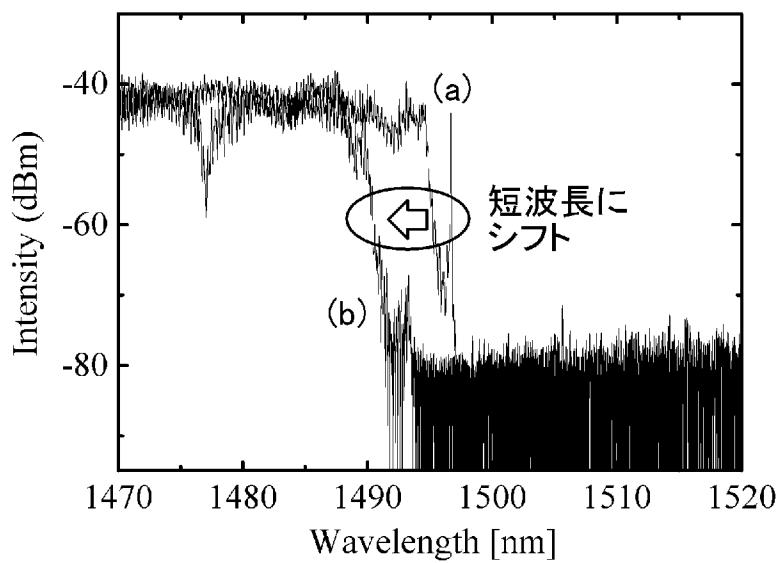
[図2B]



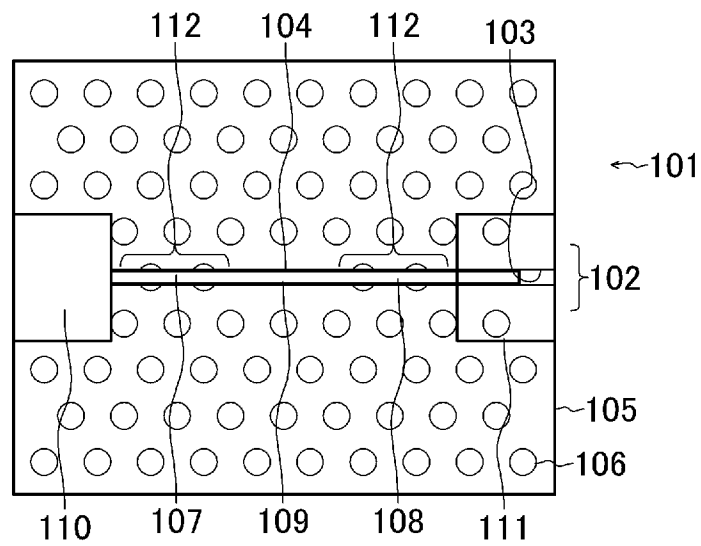
[図3]



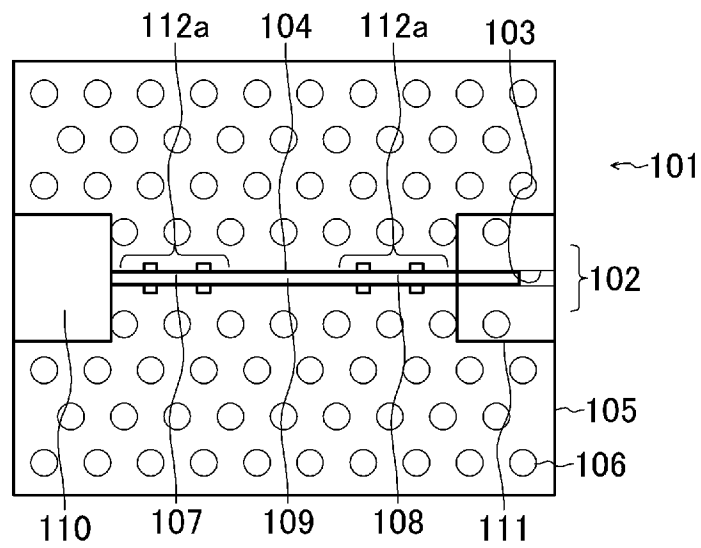
[図4]



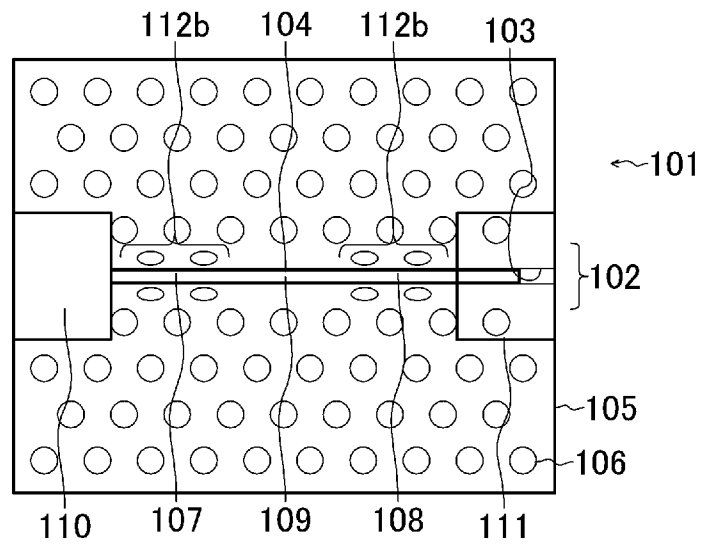
[図5A]



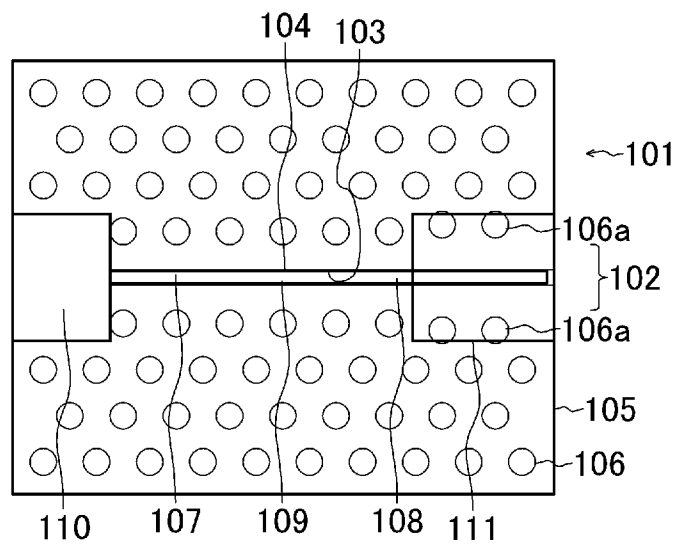
[図5B]



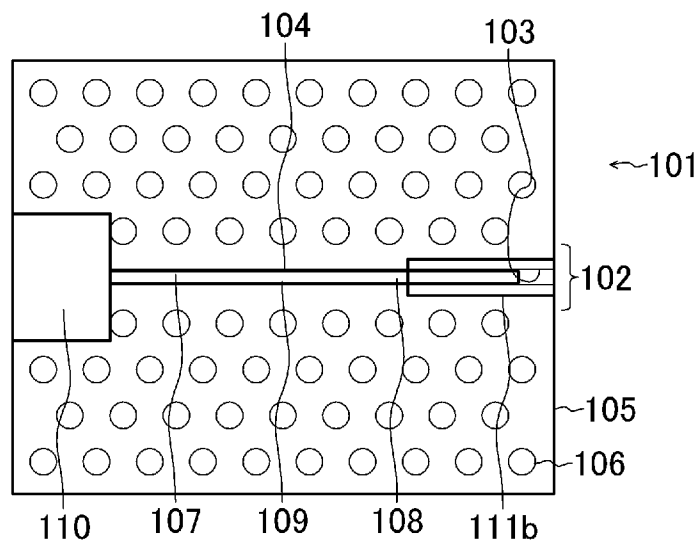
[図5C]



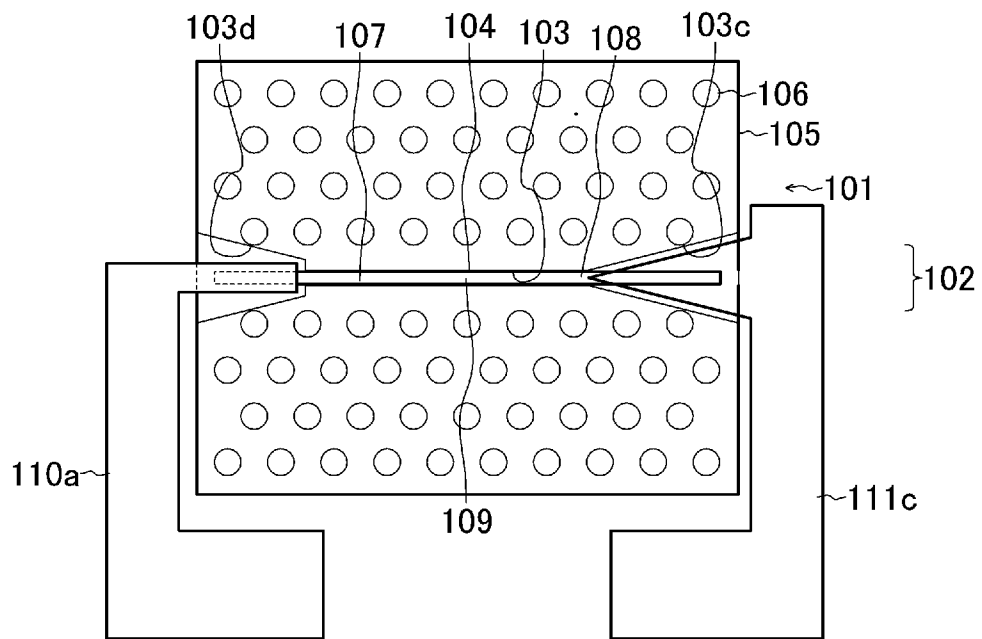
[図6]



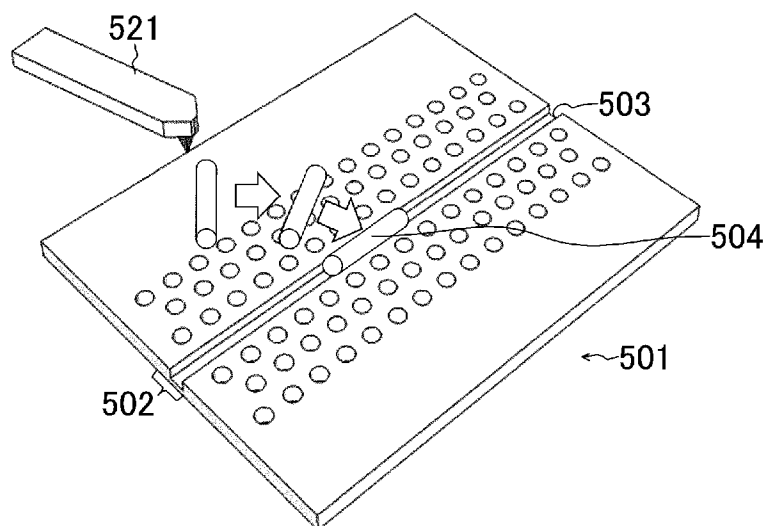
[図7]



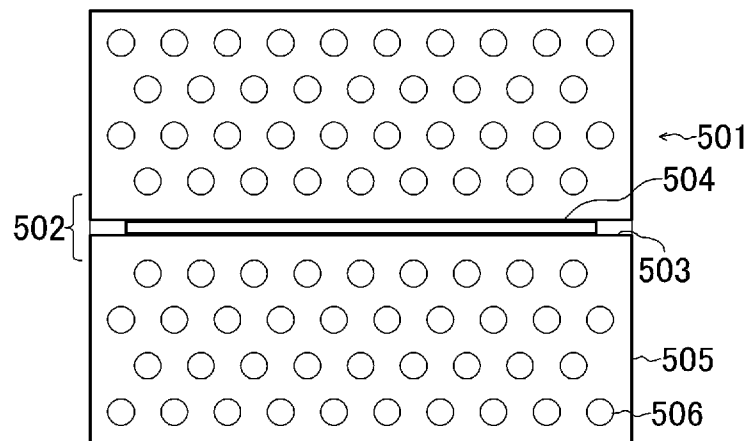
[図8]



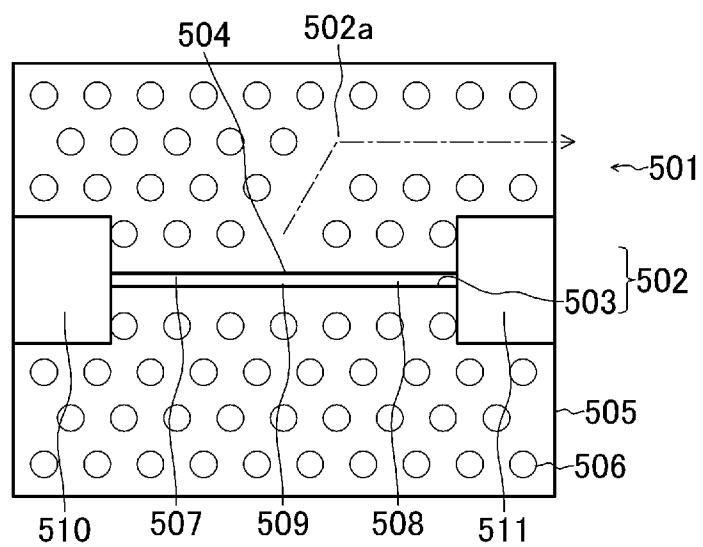
[図9A]



[図9B]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/042779

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G02B6/122 (2006.01) i, H01L33/06 (2010.01) i, H01S5/042 (2006.01) i, H01S5/10 (2006.01) i, H01S5/20 (2006.01) i, H01S5/30 (2006.01) i
FI: H01L33/06, H01S5/042 612, H01S5/10, H01S5/20, H01S5/30, G02B6/122 301
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)

Int. Cl. H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50, G02B6/122

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Scitation, IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-27168 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 06 February 2014, paragraphs [0005], [0028]-[0043], fig. 1-7	1-5
Y	JP 2018-32751 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 01 March 2018, paragraphs [0004]-[0008], [0023]-[0025], fig. 1	1-5
Y	JP 2009-505415 A (POSTECH FOUNDATION) 05 February 2009, paragraphs [0002]-[0004], [0011]-[0017]	1-5
Y	JP 2009-88481 A (SHARP CORP.) 23 April 2009, paragraphs [0004]-[0006], [0015]	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* 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
14.01.2020

Date of mailing of the international search report
04.02.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/042779

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2007/074876 A1 (NEC CORP.) 05 July 2007, paragraphs [0008], [0009], [0039]-[0054], fig. 1, 2	4-5
Y	JP 2016-115783 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 23 June 2016, paragraphs [0008]-[0016], [0043]-[0066], fig. 1-3, 5	5
Y	JP 2016-154164 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 25 August 2016, paragraphs [0010]-[0017], [0038]-[0050], fig. 1, 8-12	5
A	US 7474811 B1 (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P.) 06 January 2009, entire text, all drawings	1-5
A	US 7603016 B1 (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE AIR FORCE) 13 October 2009, entire text, all drawings	1-5
A	BIROWOSUTO et al., Design for ultrahigh-Q position-controlled nanocavities of single semiconductor nanowires in two-dimensional photonic crystals, Journal of Applied Physics, 06 December 2012, vol. 112, page 113106, fig. 1-7	1-5
A	BIROWOSUTO et al., Position Controlled Nanocavity Using a Single Nanowire in Photonic Crystals., 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (OLEO-PR), 2013 fig. 1, 2	1-5
A	YOKOO et al., Semiconductor Nanowire Induced Photonic-Crystal Nanocavity with Selectable Resonant Wavelength, 2014 Conference on Lasers and Electro-Optics (OLEO) - Laser Science to Photonic Applications, 2014, fig. 1-3	1-5
A	TAKIGUCHI et al., Continuous-wave operation and 10-Gb/s direct modulation of InAsP/InP sub-wavelength nanowire laser on silicon photonic crystal, APL PHOTONICS, April 2017, vol. 2, page 046106, fig. 1-3	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/042779

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TAKICUCHI et al., Movable Nanowire Laser On Silicon Photonic Crystal Using Atomic Force Microscopy, 2018 International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS), July 2018, fig. 1-3	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/042779

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2014-27168 A	06.02.2014	(Family: none)	
JP 2018-32751 A	01.03.2018	(Family: none)	
JP 2009-505415 A	05.02.2009	US 2008/0315229 A1 paragraphs [0002]- [0004], [0012]-[0018] WO 2007/021047 A1 CN 101238589 A	
JP 2009-88481 A	23.04.2009	US 2009/0072249 A1 paragraphs [0007]- [0009], [0028] CN 101431141 A	
WO 2007/074876 A1	05.07.2007	US 2010/0226609 A1 paragraphs [0008], [0009], [0053]- [0068], fig. 1, 2	
JP 2016-115783 A	23.06.2016	(Family: none)	
JP 2016-154164 A	25.08.2016	(Family: none)	
US 7474811 B1	06.01.2009	(Family: none)	
US 7603016 B1	13.10.2009	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/122(2006.01)i; H01L 33/06(2010.01)i; H01S 5/042(2006.01)i; H01S 5/10(2006.01)i; H01S 5/20(2006.01)i; H01S 5/30(2006.01)i FI: H01L33/06; H01S5/042 612; H01S5/10; H01S5/20; H01S5/30; G02B6/122 301		
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）） H01L33/00-33/64; H01S5/00-5/50; G02B6/122 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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年 国際調査で利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） Scitation, IEEE Xplore		
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 請求項の番号
Y	JP 2014-27168 A（日本電信電話株式会社）06.02.2014（2014-02-06） [0005], [0028]-[0043], 図1-7	1-5
Y	JP 2018-32751 A（日本電信電話株式会社）01.03.2018（2018-03-01） [0004]-[0008], [0023]-[0025], 図1	1-5
Y	JP 2009-505415 A（ポステック・ファウンデーション）05.02.2009（2009-02-05） [0002]-[0004], [0011]-[0017]	1-5
Y	JP 2009-88481 A（シャープ株式会社）23.04.2009（2009-04-23） [0004]-[0006], [0015]	1-5
Y	WO 2007/074876 A1（日本電気株式会社）05.07.2007（2007-07-05） [0008]-[0009], [0039]-[0054], 図1-2	4-5
Y	JP 2016-115783 A（日本電信電話株式会社）23.06.2016（2016-06-23） [0008]-[0016], [0043]-[0066], 図1-3, 5	5
Y	JP 2016-154164 A（日本電信電話株式会社）25.08.2016（2016-08-25） [0010]-[0017], [0038]-[0050], 図1, 8-12	5
☒ 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、一般的な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の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抵触するものではなく、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 14.01.2020		国際調査報告の発送日 04.02.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 百瀬 正之 2K 4084 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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 請求項の番号
A	US 7474811 B1 (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P.) 06.01.2009 (2009 - 01 - 06) 全文, 全図	1-5
A	US 7603016 B1 (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE AIR FORCE) 13.10.2009 (2009 - 10 - 13) 全文, 全図	1-5
A	BIROWOSUTO et al., Design for ultrahigh-Q position-controlled nanocavities of single semiconductor nanowires in two-dimensional photonic crystals, Journal of Applied Physics, 2012.12.06, Vol.112, p.113106 FIG.1-FIG.7	1-5
A	BIROWOSUTO et al., Position Controlled Nanocavity Using a Single Nanowire in Photonic Crystals., 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), 2013 Fig.1, Fig.2	1-5
A	YOKOO et al., Semiconductor Nanowire Induced Photonic-Crystal Nanocavity with Selectable Resonant Wavelength, 2014 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) - Laser Science to Photonic Applications, 2014 Figure 1 - Figure 3	1-5
A	TAKIGUCHI et al., Continuous-wave operation and 10-Gb/s direct modulation of InAsP/InP sub-wavelength nanowire laser on silicon photonic crystal, APL PHOTONICS, 2017.04, Vol.2, p.046106 FIG.1-FIG.3	1-5
A	TAKIGUCHI et al., Movable Nanowire Laser On Silicon Photonic Crystal Using Atomic Force Microscopy, 2018 International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS), 2018.07 Fig.1-Fig.3	1-5

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/042779

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2014-27168	A	06.02.2014	(ファミリーなし)	
JP	2018-32751	A	01.03.2018	(ファミリーなし)	
JP	2009-505415	A	05.02.2009	US 2008/0315229 A1	
				[0002]-[0004], [0012]-	
				[0018]	
				WO 2007/021047 A1	
				CN 101238589 A	
JP	2009-88481	A	23.04.2009	US 2009/0072249 A1	
				[0007]-[0009], [0028]	
				CN 101431141 A	
WO	2007/074876	A1	05.07.2007	US 2010/0226609 A1	
				[0008]-[0009], [0053]-	
				[0068], FIG. 1-FIG. 2	
JP	2016-115783	A	23.06.2016	(ファミリーなし)	
JP	2016-154164	A	25.08.2016	(ファミリーなし)	
US	7474811	B1	06.01.2009	(ファミリーなし)	
US	7603016	B1	13.10.2009	(ファミリーなし)	