

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2011-523200
(P2011-523200A)

(43) 公表日 平成23年8月4日(2011.8.4)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
H01L 29/66 (2006.01)	H01L 29/66	C 5 F 0 4 1
H01L 29/861 (2006.01)	H01L 29/91	Z
B82B 1/00 (2006.01)	B82B 1/00	
H01L 29/06 (2006.01)	H01L 29/06	6 O 1 N
H01L 33/06 (2010.01)	H01L 33/00	1 1 2

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 28 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2011-504964 (P2011-504964)	(71) 出願人	506177590 クナノ アーベー Qu N a n o A B スウェーデン国 ルント エスイー-22 3 70, イデオン パーク (番地無し) I d e o n P a r k, S E - 2 2 3 7 O L u n d, S w e d e n
(86) (22) 出願日	平成21年4月15日 (2009.4.15)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康徳
(85) 翻訳文提出日	平成22年11月24日 (2010.11.24)	(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(86) 國際出願番号	PCT/SE2009/050388	(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
(87) 國際公開番号	W02009/128777	(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
(87) 國際公開日	平成21年10月22日 (2009.10.22)		
(31) 優先権主張番号	0800853-4		
(32) 優先日	平成20年4月15日 (2008.4.15)		
(33) 優先権主張国	スウェーデン(SE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ナノワイヤラップゲートデバイス

(57) 【要約】

本発明は、第1の導電型の第1の縦方向領域(121)と、第2の導電型の第2の縦方向領域(122)と、第1の半導体ナノワイヤ(105)の前記第1の領域(121)に配置された少なくとも第1のラップゲート電極(111)とを含み、電圧が前記第1のラップゲート電極(111)に印加された場合に前記第1の縦方向領域(121)において電荷キャリア濃度を変更する少なくとも第1の半導体ナノワイヤ(105)を備えた半導体デバイスを提供する。第2のラップゲート電極(112)は、第2の縦方向領域(122)に配置されるのが好ましい。これにより、調整可能な擬似的な接合(114)がナノワイヤ(105)の実質的なドーピングなしで達成される。

【選択図】図2B

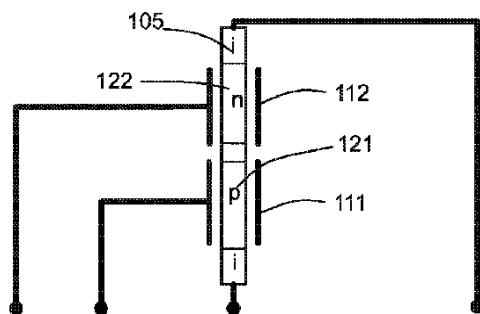


Fig. 2B

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも第1の半導体ナノワイヤ(105)を備えた半導体デバイスであって、前記第1のナノワイヤ(105)は、第1の導電型の第1の縦方向領域(121)と、第2の導電型の第2の縦方向領域(122)と、前記ナノワイヤ(150)の前記第1の縦方向領域(121)に配置された少なくとも第1のラップゲート電極とを備え、電圧が前記第1のラップゲート電極(111)に印加された場合に前記第1の縦方向領域(121)と関連付けられた前記ナノワイヤ(105)の少なくとも第1の部分(101)において電荷キャリア濃度を変更することを特徴とする半導体デバイス。

【請求項 2】

前記第2の縦方向領域(122)は、前記ナノワイヤ(105)の長さに沿って前記第1の縦方向領域(121)と一列に配置されることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項 3】

前記第2の縦方向領域(122)は、前記第1のナノワイヤと電気的に接続されている第2のナノワイヤ(106)に配置されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項 4】

第2のラップゲート電極(112)は、電圧が前記第2のラップゲート電極(112)に印加された場合に前記第2の縦方向領域(122)と関連付けられた少なくとも一部分(102)において電荷キャリア濃度を変更するために、前記第2の縦方向領域(122)に配置されていることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 5】

前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、同一の導電型であることを特徴とする請求項1又は4に記載の半導体デバイス。

【請求項 6】

少なくとも前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、組成及び/又はドーピングに関して同一であることを特徴とする請求項5に記載の半導体デバイス。

【請求項 7】

前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、異なる組成の少なくとも2つのヘテロ構造セグメントを含むことを特徴とする請求項5に記載の半導体デバイス。

【請求項 8】

前記第1の縦方向領域(121)と前記第2の縦方向領域(122)との間の界面(116)において擬似的な縦方向接合(114)を含み、前記接合(114)の各側に異なる導電型を有し、且つ、前記接合(114)の一方側に前記部分(101)を有し、前記接合は、前記電圧が印加された場合に形成されることを特徴とする請求項1乃至7のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 9】

前記擬似的な縦方向接合(114)は、p-n接合であることを特徴とする請求項8に記載の半導体デバイス。

【請求項 10】

前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、異なる導電型であることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 11】

一方側に前記部分(101)を有する、前記第1の縦方向領域(121)と前記第2の縦方向領域(122)との間の界面(116)は、各側に異なる導電型を有する縦方向接合(114)を含み、前記第1のラップゲート電極(111)は、前記電圧が印加された

10

20

30

40

50

場合に前記縦方向接合(114)を移動するように構成されていることを特徴とする請求項10に記載の半導体デバイス。

【請求項12】

前記第1のナノワイヤ(105)は第3の縦方向領域(123)を含み、前記第1の縦方向領域(121)は前記第2の縦方向領域(122)と前記第3の縦方向領域(123)との間に配置され、1つ以上のラップゲート電極(111、112、113)は、p型領域とn型領域との間の空乏領域の幅及び位置を制御するように構成されていることを特徴とする請求項1乃至11のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項13】

前記ナノワイヤ(105)は、前記第1のラップゲート電極(111)を有する前記第1の領域(121)及び前記第2のラップゲート電極(112)を有する前記第2の領域(122)により形成された擬似的な接合(114)を含み、前記擬似的な接合(114)は、前記第1の領域(121)及び前記第2の領域(122)のいずれか一方がp型領域であり、且つ、他方がn型領域であるように前記電荷キャリア濃度を変更するように構成されていることを特徴とする請求項4乃至12のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

10

【請求項14】

前記領域(121、122、123)及び前記1つ以上のラップゲート電極(111、112、113)は、光を生成するための擬似的なpn接合又はpin接合を提供し、アクティブな領域は、異なる波長を有する光を生成するために異なる組成及び/又は次元のヘテロ構造セグメント間で移動されるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至13のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

20

【請求項15】

前記領域(121、122、123)及び前記1つ以上のラップゲート電極(111、112、113)は、光を生成するための擬似的なpn接合を提供し、アクティブな領域は、異なる波長を有する光を生成するために傾斜組成のナノワイヤセグメントに沿って移動されるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至14のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項16】

前記ナノワイヤ(105)は、コア(107)と、径方向のヘテロ構造を形成する少なくとも第1のシェル層(108)とを含み、前記第1のラップゲート電極(111)は、電圧が前記第1のラップゲート電極(111)に印加された場合に前記第1のナノワイヤ(105)の前記第1の縦方向領域(121)の径方向において前記電荷キャリア濃度を変更するために使用されるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

30

【請求項17】

前記径方向のヘテロ構造は、前記電圧が印加された場合に光を生成するためのアクティブな領域を含むように構成されていることを特徴とする請求項16に記載の半導体デバイス。

【請求項18】

前記第1のナノワイヤ(105)の少なくとも前記第1の縦方向領域(121)は、前記第1の縦方向領域(121)の前記電荷キャリア濃度の変更により変更される強磁性特性を有する磁気半導体材料を含んでいることを特徴とする請求項1乃至17のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

40

【請求項19】

前記第1のラップゲート電極(411)は、前記第1の領域(421)の前記強磁性をオン及びオフに切り替えるために、前記第1のナノワイヤ(405)の前記第1の領域(421)に配置されていることを特徴とする請求項18に記載の半導体デバイス。

【請求項20】

前記ナノワイヤ(105、106)は、基板(102)の上にエピタキシャル配置され

50

、前記ナノワイヤ（105、106）は、前記基板から突出していることを特徴とする請求項1乃至19のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項21】

前記第1のナノワイヤは、長さに沿って分布された一連の量子井戸を含み、1つ以上のラップゲート電極は、前記量子井戸のいずれかに対して光を生成するためのアクティブな領域を調整するために、前記ナノワイヤの長さに沿って異なる位置に配置されていることを特徴とする請求項1乃至20のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項22】

第1のナノワイヤ（105）の第1の領域（121）に配置された少なくとも第1のラップゲート電極（111）を使用して前記第1のナノワイヤ（105）の特性を変調する方法であって、

電圧が前記第1のラップゲート電極（111）に印加された場合に前記第1のナノワイヤ（105）の前記第1の領域（121）の強磁性特性、又は、電荷キャリア濃度及び／又は電荷キャリア型を変更するステップを含むことを特徴とする方法。

【請求項23】

前記電荷キャリア濃度及び／又は前記電荷キャリア型を変更する前記ステップは、前記電圧が前記第1のラップゲート電極（111）に印加された場合に擬似的なp n接合を提供することを特徴とする請求項22に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には、ナノワイヤを用いた半導体デバイスに関し、特に、バンドギャップ、電荷キャリア型、電荷キャリア濃度、強磁性特性等に関する高精度特性を要求するナノワイヤを用いた半導体デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

以下に更に説明するように、半導体デバイスは、最近まで、小型化及び最適な材料の選択に関して制約を与えるプレーナ技術に基づいていた。ナノテクノロジーの発展、及び、特に、ナノワイヤを生成する新しい技術により、プレーナ技術では不可能であった、改善された特性を有する半導体デバイスを設計し、且つ、新しいデバイスを作成する新しい可能性が得られた。このような半導体デバイスは、ナノワイヤ固有の特性、2次元、1次元又は0次元の量子閉じ込め、格子整合性の制約が軽減されたことによる軸方向の材料不均一性の適応性、アンテナ特性、バリスティック輸送、導波特性等から利点が得られる。

【0003】

しかしながら、電界効果トランジスタ、発光ダイオード、半導体レーザ及びセンサ等の半導体デバイスをナノワイヤから製造するために、ナノワイヤにおいて注入領域（doped regions）を形成できることは非常に重要である。これは、いくつかの半導体デバイスの重要な部分である構造、即ち、基本的なp n接合を考慮すると理解される。ここで、ビルトイン電圧は、互いに隣接するp注入領域及びn注入領域を形成することにより得られる。ナノワイヤを用いた半導体デバイスにおいて、ナノワイヤの長さに沿ったp n接合は、異なる組成及び／又はドーピングの縦方向セグメントを形成することにより提供される。この種のナノワイヤに沿ったバンドギャップの調整は、例えば、異なるバンドギャップ及び／又はドーピングレベルの縦方向セグメントを使用することにより、ナノワイヤを用いた電界効果トランジスタのソース／ゲート間及びゲート／ドレイン間のアクセス抵抗を低減するために使用可能である。一般に、バンドギャップは、異なるバンドギャップを有する種々の半導体材料の縦方向セグメントを含むヘテロ構造を使用することにより変更される。更に、ドーパントの種類及びドーピングレベルは、ナノワイヤの成長中又は成長後に長さに沿って変動する。成長中、ドーパントは気相で注入され、成長後、ドーパントは拡散によりナノワイヤに注入される、或いは、電荷キャリア濃度は周囲の層からのいわゆる変調ドーピングにより影響を受ける。

【0004】

米国特許第5,362,972号において、ラップゲート電界効果トランジスタが開示されている。ラップゲート電界効果トランジスタは、一部分がゲートにより取り囲まれる又は覆われるナノワイヤを含む。ナノワイヤは、トランジスタの電流チャネルとして動作し、ゲートにより生成された電界は、トランジスタの動作のために、即ち、電流チャネルに沿って電荷キャリアの流れを制御するために使用される。ナノワイヤのドーピングにより、nチャネル、pチャネル、増加型又は空乏型トランジスタが形成されることが国際公開第2008/034850号から理解される。国際公開第2006/135336号において、ヘテロ構造セグメントは、電流制御、閾値電圧制御及び電流オンオフ比等の特性を向上するために、ラップゲート電界効果トランジスタのナノワイヤに更に導入される。

10

【0005】

ナノワイヤのドーピングは、いくつかの原因により困難である。例えば、結晶ナノワイヤへのドーパントの物理的な注入は禁止されている可能性があり、特定のドーパント濃度から得られた電荷キャリア濃度は、対応するバルク半導体材料のドーピングから予想したものより低い。例えば、いわゆるVLS(気相-液相-固相)機構を使用して触媒粒子から成長するナノワイヤの場合、触媒粒子におけるドーパントの溶解度及び拡散は、ドーパントの注入に影響を及ぼす。一般に、ナノワイヤに対する同様の長期結果を有する1つの関連した効果は、表面サイトに対するナノワイヤにおけるドーパントの外方拡散である。この効果は、ナノワイヤの高い表面对体積比により向上される。キャリアリザーバの体積を減少させる表面空乏効果は、ナノワイヤの高い表面对体積比のために増加される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第5,362,972号明細書

【特許文献2】国際公開第2008/034850号パンフレット

【特許文献3】国際公開第2006/135336号パンフレット

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記を考慮すると、本発明の目的は、ナノワイヤのドーピングに関連した特性に関してナノワイヤを含む半導体デバイスを改善することである。これは、独立請求項で規定される半導体デバイス及び方法により達成される。

30

【0008】

本発明の第1の側面において、少なくとも第1の半導体ナノワイヤを備えた半導体デバイスが提供される。ナノワイヤは、第1の導電型の第1の縦方向領域と、第2の導電型の第2の縦方向領域と、前記第1の領域に配置された少なくとも第1のラップゲート電極とを有する。前記ラップゲート電極は、電圧が第1のラップゲート電極に印加された時に、第1の縦方向領域と関連付けられたナノワイヤの少なくとも第1の部分において電荷キャリア濃度を変更するように構成される。

【0009】

第2の縦方向領域は、第1のナノワイヤと電気的に接続される第2のナノワイヤ又はナノワイヤの長さに沿って第1の縦方向領域と一列に配置されてもよい。追加のラップゲートは、ナノワイヤの長さに沿って電荷キャリア濃度を変更するために第2の縦方向領域又は他の領域に配置される。

40

【0010】

半導体デバイスの第1のナノワイヤは、コアと、径方向のヘテロ構造を形成する少なくとも第1のシェル層とを含んでもよく、ヘテロ構造は、光を生成するために使用されてもよい。

【0011】

本発明の一実施形態において、半導体デバイスは熱電素子として動作するように構成さ

50

れる。

【0012】

本発明の第2の側面において、半導体デバイスが、例えば、メモリ素子として動作するよう、強磁性体を含むナノワイヤを含む半導体デバイスが提供される。これは、強磁性体の強磁性特性が変更されるように電荷キャリア濃度を変更するためにナノワイヤの領域に配置されたラップゲート電極に電圧を印加することにより達成される。

【0013】

本発明によれば、特に、局所的ゲート制御及び反転により半導体デバイス及びナノワイヤを用いた半導体デバイスの従来のドーピングを置換できる、或いは、実質的なドーピングを回避できる。一例として、本発明によれば、従来のデバイス及び波長調整可能なLED(発光ダイオード)等の調整可能な半導体デバイスのように空乏領域に空間電荷を有することなく改善されたpn接合の形成が可能となる。

10

【0014】

本発明の実施形態は、従属請求項で規定される。添付の図面及び請求項を考慮して、本発明の他の目的、利点及び新しい特徴は、本発明の以下の詳細な説明で明らかとなるだろう。

【図面の簡単な説明】

【0015】

添付の図面を参照して本発明の好適な実施形態を説明する。

【図1A】図1Aは、本発明におけるナノワイヤの導電性の変動に対するラップゲート電極を有するナノワイヤを示す概略図である。

20

【図1B】図1Bは、本発明におけるナノワイヤの導電性の変動に対するラップゲート電極を有するナノワイヤを示す概略図である。

【図2A】図2Aは、本発明における擬似的なpn接合を形成するためのダブルラップゲートを有するナノワイヤを示す概略図である。

【図2B】図2Bは、本発明における擬似的なpn接合を形成するためのダブルラップゲートを有するナノワイヤを示す概略図である。

【図3】A～Iは、本発明のいくつかの実施形態におけるラップゲート電極の起動の効果を示す概略図である。

【図4A】図4Aは、本発明における空乏化したナノワイヤから擬似的なpn接合を含むナノワイヤへの変換を示す概略図である。

30

【図4B】図4Bは、本発明における空乏化したナノワイヤから擬似的なpn接合を含むナノワイヤへの変換を示す概略図である。

【図4C】図4Cは、本発明における空乏化したナノワイヤから擬似的なpn接合を含むナノワイヤへの変換を示す概略図である。

【図5A】図5Aは、本発明における複数の量子井戸を含むナノワイヤを示す概略図である。

【図5B】図5Bは、本発明における複数の量子井戸を含むナノワイヤを示す概略図である。

【図6】図6は、本発明における径方向のヘテロ構造を含むナノワイヤ及びそのような構造の励起により得られるPL図を示す概略図である。

40

【図7A】図7Aは、本発明における熱電素子を示す概略図である。

【図7B】図7Bは、本発明における熱電素子を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本発明の実施形態は、いわゆるナノワイヤを含むナノ構造に基づいている。本出願の目的のために、ナノワイヤは、ナノメートルの寸法の幅及び直径を有し、且つ、典型的には、1次元特性を提供する縦長の形状を有するものと解釈される。このような構造は、一般に、ナノワイヤ、ナノロッド、ナノチューブ、1次元ナノ素子とも呼ばれる。粒子支援成長又は米国特許第7,335,908号に説明されているいわゆるVLS(気相-液相

50

- 固相) 機構により基板上にナノワイヤを形成する基本的な処理、種々の化学ビームエピタキシー法及び気相エピタキシー法が知られている。但し、本発明は、このようなナノワイヤにもVLS法にも限定されない。ナノワイヤを成長させる他の適切な方法は、当業界で知られており、例えば、国際公開第2007/104784号において示されている。これによると、ナノワイヤは、粒子を触媒として使用せずに成長させられる。従って、選択的に成長されたナノワイヤ及びナノ構造、エッティングされた構造、他のナノワイヤ、及び、ナノワイヤから製造された構造が更に含まれる。

【0017】

ナノワイヤは、必ずしもその長さに沿って均一であるとは限らない。ナノメートルの寸法により、ナノワイヤ材料に一致しない格子である基板上での成長が可能になるだけでなく、ヘテロ構造がナノワイヤに提供される。ヘテロ構造は、ナノワイヤの隣接する1つ以上の部分とは異なる性質の半導体材料のセグメントから構成される。ヘテロ構造セグメントの材料は、異なる組成及び/又はドーピングであってもよい。ヘテロ接合は、階段接合でも傾斜接合でもよい。

10

【0018】

本発明は、ラップゲート電極の使用に基づいて、ナノワイヤの特性を変調するために、半導体デバイスにおいて輸送チャネルとして使用されるナノワイヤの少なくとも一部分の電荷キャリア濃度を制御する。

20

【0019】

図1Aを参照するに、本発明における半導体デバイスは、半導体デバイスの輸送チャネルを形成する少なくとも第1の半導体ナノワイヤ105と、第1の縦方向領域121と、第2の導電型の第2の縦方向領域122と、第1のナノワイヤ105の第1の縦方向領域121に配置された少なくとも第1のラップゲート電極111とを含み、電圧が第1のラップゲート電極111に印加された場合に、第1の縦方向領域121と関連付けられたナノワイヤの少なくとも一部分において電荷キャリア濃度を変更する。第1のラップゲート電極111は、その間に誘電体(不図示)を有するナノワイヤ105の少なくとも一部分を囲む。

20

【0020】

このゲート制御の効果は、印加された電圧及び半導体デバイス、特に、第1のゲート電極111及びナノワイヤ105の特定の設計に依存するが、例えば、これは完全な第1の縦方向領域において電荷キャリア濃度を変更する可能性がある。電荷キャリア濃度は、ナノワイヤの一部分の電荷キャリア型を変更するほど変更される可能性がある。これにより、擬似的なpn接合等の種々の「擬似的な」デバイスの作成が可能になる。電荷キャリア濃度の変更は、ナノワイヤの強磁性特性を変更するために使用することも可能である。本発明の概略的な説明を以下に詳述する。

30

【0021】

電荷キャリア型は、一般に、p型又はn型と呼ばれる。本出願の目的のために、電荷キャリア型は、真性、即ち、i型である可能性もある。p型材料は、多数電荷キャリアとして正孔を有し、n型材料は、多数電荷キャリアとして電子を有する。一方、真性材料は、十分な多数電荷キャリア濃度を有さない材料である。従って、このような低い濃度において、導電性はそれらの電荷キャリア以外の材料特性によるものであるが、真性材料は電荷キャリアとして電子又は正孔を有してもよい。

40

【0022】

上述したように、例えば、ナノワイヤに沿ってヘテロ構造を形成することにより、ナノワイヤ105は、組成及びドーピングに関して均一であってもよく、或いは、ナノワイヤに対してバンドギャップエンジニアリングが行われてもよい。図1Bは、基板104から直交方向に成長した第1の不均一ナノワイヤ105を含む本発明の1つの実施形態における半導体デバイスを概略的に示している。第1のラップゲート電極111は、ナノワイヤの一部分に沿って基板から延在し、その間に誘電体104を有するナノワイヤ105の第1の縦方向領域121を囲む。ナノワイヤ105は、輸送チャネルを形成し、これは、ナ

50

ノワイヤ105の一方の端部にトップコンタクトにより電気的に接続され、基板104は、ナノワイヤ105の他方の端部に電気的に接続される。第1のナノワイヤ105は、少なくとも1つの量子井戸115を含み、これは、第1のラップゲート電極111及び第1の縦方向領域121内の量子ドットの両側の広いバンドギャップのバリアセグメントにより囲まれた量子ドットの形態であってもよい。

【0023】

第1の縦方向領域121及び第2の縦方向領域122は、同一の導電型であっても異なる導電型であってもよく、更に、導電特性は、1つ以上のラップゲート電極に電圧を印加することにより変更される。例えば、本発明の1つの実施形態において、半導体デバイスは、ナノワイヤ121の長さに沿った第1の縦方向領域121と一列に配置された第2の縦方向領域122により均一にnドープされた少なくとも第1のナノワイヤ105を含む。第1のラップゲート電極111は、第1のナノワイヤ105の第1の縦方向領域121に配置され、所定の電圧が第1のラップゲート電極111に印加された場合に、第1の領域121がp型領域になるように電荷キャリア濃度を変更する。このように、pn接合は、能動的に形成される。

10

【0024】

電荷キャリア濃度は、縦方向領域に複数のラップゲート電極を配置することにより複数の縦方向領域において変更される。図2Aを参照するに、本発明の1つの実施形態における半導体デバイスは、少なくとも第1のナノワイヤ105を含む。第1のナノワイヤ105は、第1のナノワイヤ105の第1の縦方向領域121に配置された第1のラップゲート電極111と、第1のナノワイヤ105の第2の縦方向領域122に配置された第2のラップゲート電極112とを有する。各ラップゲート電極は、電圧がラップゲート電極111、112に印加された場合に、第1のナノワイヤ105の対応する領域121、122の電荷キャリア濃度を変更するように構成される。図2Bは、第1の縦方向領域及び第2の縦方向領域の電荷キャリア濃度が真性から第1の縦方向領域121においてはp型に、第2の縦方向領域122においてはn型に変更され、それにより、第1の縦方向領域121と第2の縦方向領域122との界面116においてpn接合又はpin接合114を形成するように、ラップゲート電極が起動されたダブルゲートナノワイヤ105を概略的に示している。p型領域とn型領域との間の空乏領域の幅及び位置又はp型領域及びn型領域の幅で規定される特性等のpn接合の特性は、印加された電圧を変更することにより変更される。当業者には理解されるように、領域121、122の一方は、p型又はn型にされ、擬似的なpn接合は、元々n型であるナノワイヤ又はp型であるナノワイヤから形成される。

20

【0025】

このように、第1の領域121及び第2の領域122の1つ以上の電荷キャリア濃度の変更は、縦方向領域間の界面116において接合114を形成するために使用されてもよい。この接合はラップゲート電極121、122の起動前に第1のナノワイヤ105に実際に存在しない、或いは、不動態で既に存在している異なる導電型の領域間の接合がナノワイヤの長さに沿って移動されてもよい。この種の接合は、以下では、擬似的な接合と呼ばれる、或いは、p型及びn型の領域が隣接する特定の例においては擬似的なpn接合と呼ばれる。本発明は、ナノワイヤごとに1つ又は2つのラップゲート構造を有する実施形態の例で示されたが、当然、ナノワイヤごとに3つ以上のラップゲート構造を有することも考えられる。複数のラップゲート電極は、ナノワイヤの長さに沿って電荷キャリア濃度及び/又は電荷キャリア型を調整するために、ナノワイヤに沿って種々の位置に配置されてもよい。

30

【0026】

なお、第1の縦方向領域121を取り囲む第1のラップゲート電極111に電圧が印加されると、第1の縦方向領域121と関連付けられたナノワイヤ105の一部分101は、電荷キャリア濃度を変更する。同様に、第2の縦方向領域121及び第3の縦方向領域113を取り囲む第2又は第3のラップゲート電極111に電圧が印加されると、ナノワ

40

50

イヤ 105 の一部分 102、103 は、電荷キャリア濃度を変更する。印加された電圧の大きさにより、上述した部分の拡張部分が判定され、導電型が変更されるかが判定される。図 3A～図 3I は、異なるラップゲート電極及び導電型構成を有する本発明の実施形態を概略的に示している。印加された電圧が相対的に低く、且つ、導電型を変更した部分がナノワイヤ又は隣接する領域に部分的にのみ延在する場合に活性態で実施形態を示しているが、より高い電圧レベルにおいて上述した部分がより大きな拡張部分を有すること、即ち、ナノワイヤが所定の電圧レベルで幅全体及び領域全体にわたって導電型を変更することが理解されるであろう。特定の電圧レベルにおいてのみ、縦方向接合が形成される。以下、図 3A～図 3I のそれぞれについて簡単に説明する。図 3Aにおいて、第 1 の縦方向領域 121 及び第 2 の縦方向領域 122 は p 型であり、第 1 の領域 121 に配置された第 1 のラップゲート電極 111 に電圧（電位）を印加すると、第 1 の領域の少なくとも一部分が n 型に転換される。従って、p n 接合は、最終的に、第 1 の領域 121 と第 2 の領域 122 との間に形成される。図 3Bにおいて、第 1 の領域 121 及び第 2 の領域 122 は、第 1 のラップゲート電極 111 及び第 2 のラップゲート電極 112 のそれぞれによりゲート制御される。ナノワイヤは、少なくとも上述した領域において真性であり、ラップゲート電極 111、112 に電圧を印加することにより、第 1 の領域の少なくとも一部分は n 型になり、第 2 の領域の少なくとも一部分は p 型になる。これにより、最終的に、第 1 の領域と第 2 の領域との間に擬似的な p n 接合が形成される。図 3C に示すナノワイヤは、n 型領域 123 及び p 型領域 2 を含み、その間に真性領域を含む。それぞれが各領域を取り囲む 1 つ以上のラップゲート電極に電圧を印加することにより、真性領域 121 と隣接する領域 122、123 との間の界面が移動する。図 3Dにおいて、ナノワイヤは、第 1 の領域 121 において p 型材料を含み、第 2 の領域 122 において n 型材料を含む。図 3A に従ってデバイスを動作させることにより、第 1 の領域と第 2 の領域との間の p n 接合は消去される。図 3E は、図 3A と同一であるが、真性領域 121、122 を有する。図 3Fにおいて、第 1 の領域 121 は p 型であり、第 2 の領域 122 は n 型であるが、各領域 121、122 に配置されたラップゲート電極に電圧を印加することにより、電荷キャリア型が変更され、即ち、p n 接合が n p 接合になる。図 3G 及び図 3H は、図 3C と同様であるが、異なる電圧がラップゲート電極に印加され、異なる構成のラップゲート電極がアクティブである。図 3I は、p 型領域と n 型領域との間の界面の移動方法を概略的に示している。

【0027】

1 つ又は複数のラップゲートをアクティブにすることにより、一方方向又は他の方向のバンドギャップが局所的に押される可能性がある。異なる方向にバンドギャップを押す 2 つの隣接するラップゲート電極を有することにより、擬似的な p n 接合が達成されてもよい。これにより、ナノワイヤの従来のドーピングを置換できる。一例として、これにより、従来のデバイスのように空乏領域において空間電荷を有することなく、改善された p n 接合の形成が可能となる。

【0028】

上述したように、本発明のナノワイヤは、例えば、非ドープ（真性）であってもよく、或いは、p ドープ又は n ドープのみされてもよい。これにより、ナノワイヤ半導体デバイスの製造が容易になる。ナノワイヤは、ドーピングに関して均一であってもよいが、これに限定されない。これにより、真の 1 次元動作を有するより薄いナノワイヤを使用する可能性等の新しい可能性が与えられる。

【0029】

本発明によれば、輸送が電子及び / 又は正孔によりナノワイヤに沿って搬送される領域の不均一な誘導を含む半導体デバイスの構成が可能になる。ここで、例えば、ナノワイヤの半分は電子伝導を行い、残りの半分は正孔伝導を行う。これにより、ナノワイヤの長さに沿って調整可能な擬似的な p n 接合が効果的に提供される。本発明の 1 つの利点は、原則として、キャリアがゲート制御された領域から提供される非ドープナノワイヤが使用されることである。これは、ナノワイヤにより提供された特有の機会に密接に基づいた整流

10

20

30

40

50

器及び発光ダイオード等の半導体デバイスを可能にする。これまでには、単一 p-n 接合を説明したが、n 領域及び p 領域として動作する領域の他の種類の組合せが可能である。例えば、ゲート誘導 n-p-n バイポーラトランジスタ構成が可能である。

【0030】

図 4 A は、図 2 B における空乏化した公称非ドープ（直径 60 nm）GaAs ナノワイヤ 105 の局所的な変換を概略的に示している。図中、電圧がラップゲート電極 111、112 に印加された場合、（p 型）基板 104 に最近接する第 1 の領域 121 は p 型導電性に変換され、ナノワイヤの n 型端子に最近接する第 2 の領域 122 は n 型導電性に変換される。これらのラップゲート電極 111、112 は、その間に共通の電圧源を有する 1 つの電気回路の一部分であってもよい。これにより、変換された領域間の界面は移動される。ゲートにおいてゼロ電位の場合には、ナノワイヤ 105 は空乏化され、2 つのゲート 111、112 において + / - 3 V の場合には、n ドープ及び p ドープされた動作が類似する。バイアスが基板と n 型端子との間に印加された場合、これは、一例として、ナノ LED として使用するために、擬似的な p-n 接合として動作する。本発明の 1 つの実施形態において、半導体デバイスは、例えば、ナノワイヤの長さに沿って傾斜組成を有する波長調整可能な LED を得るために、LED の再結合領域がナノワイヤの長さに沿って移動されることを可能にする少なくとも 2 つのラップゲート電極を有する LED として機能できる。傾斜組成は、ナノワイヤの長さに沿って異なる組成のセグメントを含んでもよい。変化する寸法、即ち、直径は、ナノワイヤの長さに沿い、調整可能な LED を達成するため単独で又は変化する組成と組み合わせて使用可能である。図 4 B は、印加されたバイアスによる挙動を概略的に示し、図 4 C は、0 V のバイアス及び 1.3 V のバイアスにおける電子及び正孔の空間分布を示している。

10

20

30

40

【0031】

図 5 A 及び図 5 B を参照するに、本発明における半導体デバイスの 1 つの実施形態は、長さに沿って分布される一連の量子井戸 115 を有する第 1 のナノワイヤ 105 を含む。1 つ以上のラップゲート電極は、量子井戸の組成により判定された所定の波長を有する光を生成するために量子井戸のいずれかに対して光を生成するように再結合領域の調整を可能にするナノワイヤの長さに沿って異なる位置に配置される。このように、ナノワイヤ LED デバイスにおいて離散的な波長を切り替えることが考えられる。複数のナノワイヤから射出された光の波長は、より幅の広いスペクトルを有するように組み合わされてもよい。図 5 A は、第 1 のラップゲート電極と第 2 のラップゲート電極との間の位置において異なる組成の 2 つの量子井戸を有するナノワイヤ 105 を示している。第 1 のラップゲート電極 111 及び第 2 のラップゲート電極 112 に印加された電圧を変更することにより、電荷キャリア型を真性から p 型又は n 型に変更したナノワイヤ 105 の部分の拡張部分の拡張が変更される。これにより、再結合領域は、量子井戸のいずれかに対して移動される。図 5 B は、不動態の真性導電型を有する第 1 の縦方向領域 121 に配置された第 1 のゲート 111 のみを含む別の実施形態を示している。第 2 の縦方向領域 122 において、ナノワイヤは p 型である。再結合領域は、第 1 の領域 121 と第 2 の領域 122 との間の異なる組成の 2 つの量子井戸間で移動可能である。

50

【0032】

上述したように、ナノワイヤのドーピングは困難である。特に、III-V 族窒化物半導体、例えば、GaN の Mg ドーピングは困難である。ナノワイヤ LED 等のこの種の材料からなる半導体デバイスの性能は、ラップゲートを使用して再結合領域の正孔の濃度を増加することにより向上される。

【0033】

図 6 を参照するに、本発明における半導体デバイスの 1 つの実施形態は、ナノワイヤコア 207 と、コア 207 にエピタキシャル配置され、且つ、少なくとも部分的にナノワイヤコア 207 を取り囲み、径方向のヘテロ構造を提供する少なくとも第 1 のシェル層 208 とを含む少なくとも第 1 のナノワイヤ 205 を含む。少なくとも第 1 のラップゲート電極 211 は、ナノワイヤ 205 の第 1 の領域 221 に配置される。

50

【0034】

本発明の1つの実施形態において、コア及びコアを取り囲む第1のシェル層で規定された1つ以上の量子井戸の双方は導電し、シェル層におけるキャリア濃度は第1のラップゲートにより制御される。

【0035】

本実施形態の1つの実現例において、コア及びシェル層は、ラップゲート電極の起動により電子伝導されるように構成される。本実施形態の別の実現例において、ラップゲート電極の起動により、コアはn伝導されるように構成され、シェルはp伝導されるように構成される。本実施形態の更に別の実現例において、電荷キャリア型は調整可能である。

【0036】

本発明における半導体デバイスの1つの実施形態は、GaAsコア及びAlGaAsシェル層を有するナノワイヤを含む。このコア/シェル構造により、空間間接励起子を形成する機会が可能になり、電子及び正孔は、径方向に分離される。GaAs/AlGaAsコア/シェル構造のコア及びシェル層において再結合する励起子から得られるPLの具体例を図4に示す。

【0037】

図7A及び図7Bを参照するに、本発明の1つの実施形態において、半導体デバイスは熱電素子である。ラップゲートで制御されるナノワイヤ305により、室温熱電において本発明の熱電素子を使用することが可能となる。一般に、ナノワイヤに基づいた技術は、従来の冷却及び電力変換技術を超えるエネルギー変換効率を有する熱電材料に対する非常に将来性のある技術であると考えられる。しかしながら、当分野における1つの問題は、熱電対を形成するために、同程度に優れた性能特性を有するp型ナノワイヤ及びn型ナノワイヤの双方が必要となることである。一般に、n型デバイスは、典型的なIII-V族材料において、正孔よりも電子に対する方が実質的に高い移動度を有すると考えられる。本実施形態において、ラップゲート誘導キャリア伝導は、規定しない場合には同一のナノワイヤからp型ナノワイヤ305及びn型ナノワイヤ306を規定し、それらの性能が一致するようにこれらのナノワイヤを調整し、それにより、例えば、熱電対又はペルチェ素子等の熱電素子の性能を最適化するために使用される。本実施形態の1つの実現例において、n領域及びp領域のチェックカーボードパターンを有するウエハ全体は、加熱/冷却するための熱電効果を提供するために動作される。

【0038】

本発明の別の実施形態において、半導体デバイスが熱電素子として機能する場合、半導体デバイスは、上述したように、径方向のヘテロ構造、即ち、n型コア307及びp型シェル層308を含むナノワイヤを含む。少なくとも第1のラップゲート電極311は、ナノワイヤ305の第1の領域321を取り囲むと共に、單一ナノワイヤペルチェ素子を形成する。非常に多数のそのようなナノペルチェ素子のアレイは冷却又は電力生成に使用されるが、單一のそのような素子は非常に効果的なナノスポット冷却器であってもよい。

【0039】

本発明の1つの実施形態は、スピントロニクスに関する。本実施形態において、ラップゲート誘導キャリア変調は、低濃度ドープされた磁気半導体の強磁性特性を構成及び操作するために使用される。自由キャリア、即ち、自由正孔は、殆どの場合に最大%レベルまでの濃度を有するMn不純物である磁気不純物の間を媒介し、且つ、その間のスピントロニクス結合を誘導する。これまで、強磁性挙動を招くキャリア媒介スピントロニクス結合は、正孔濃度がMnドーピング濃度と密接に関連付けられるため、制御することが非常に困難であった。本発明において、上述した方法で磁気半導体を含むナノワイヤの周囲に1つ以上のラップゲートを配置することにより、ラップゲート誘導キャリア変調を使用して自由キャリア濃度を別個に調整することができる。

【0040】

本実施形態の1つの実現例において、本発明における半導体デバイスは、強磁性のオン及びオフを切り替えるために外部ゲートが使用されるMnドープIII-V族ナノワイヤの

10

20

30

40

50

高密度のアレイを含む。このデバイスは、磁気記憶装置に使用される。例えば、行及び列にナノワイヤを配置することにより、単一ナノワイヤが容易に対処される。ナノワイヤの1次元特性及び2次元アレイ構成により判定された異方性は、従来の記憶媒体と比較して高い温度になるほど性能を向上する。上述した擬似的な接合を作成し、且つ、複数の領域を調整可能なLEDを提供するために、ナノワイヤのゲート制御と同様に、1つのナノワイヤの複数領域の強磁性特性は、ナノワイヤの長さに沿って配置された複数のラップゲートにより制御される。強磁性特性の構成及び操作を行うためのラップゲート誘導キャリア変調の基本的な構造は、図1A及び図2Aに最もよく示されている。ナノワイヤの電荷キャリア濃度は、電荷キャリア型を変更するためなく、強磁性特性が変更されるように、局所的に制御される。

10

【0041】

本発明における半導体デバイスのナノワイヤは、従来技術において使用されていたものより直径が小さくてもよい。従来技術の半導体デバイスのナノワイヤの直径は、典型的には、30nmを超える、30～50nmの範囲である場合が多い。本発明により、直径が30nm未満、好ましくは、20nm未満であり、更に好ましくは、10～20nmの範囲であるナノワイヤが使用可能である。これは、実質的に非ドープのナノワイヤの電荷キャリア濃度及び/又は電荷キャリア型の変調が使用されるため可能である。しかしながら、本発明は均一なナノワイヤに限定されず、ナノワイヤの長さに沿って傾斜組成又は変化する組成を有するナノワイヤが使用されてもよい。更に、上述したように、径方向のヘテロ構造が使用されてもよい。

20

【0042】

本発明により、広い範囲にわたってキャリア濃度を操作できるようになり、ナノワイヤに沿った種々のセグメントごとに独立してこれを行える。これは電荷反転を含む。この方法により、理想的な1次元ナノワイヤにおけるフェルミエネルギーが完全に調整される。

【0043】

超短ゲート長(約50nm)を作成した経験に基づいて、そのようなラップゲートを垂直に積み重ねることができる。これにより、単一量子ドット又は単一電子ターンスタイル設計によるナノワイヤの長さに沿ったナノワイヤの輸送チャネルの制御が可能になる。

【0044】

単一ナノワイヤに関して本発明を説明したが、大量(数個～数百万個)のナノワイヤが同一の方法で統括的にゲート制御されてもよいことが理解される。

30

【0045】

現時点で最も実用的で好適な実施形態であると考えられるものに関連して本発明を説明したが、本発明は、開示した実施形態に限定されることを意図せず、添付の請求項の範囲内の種々の変形及び同等な構成を範囲に含むことを意図する。

【図 1 A】

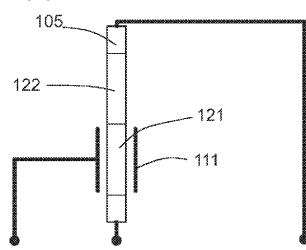


Fig. 1A

【図 1 B】

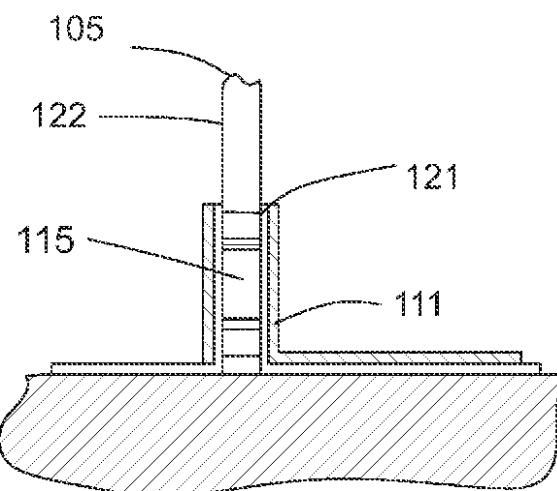


Fig. 1B

【図 2 A】

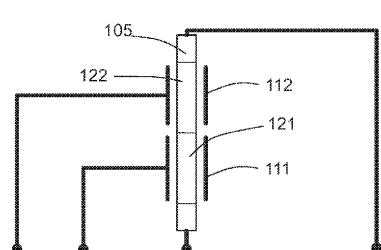


Fig. 2A

【図 2 B】

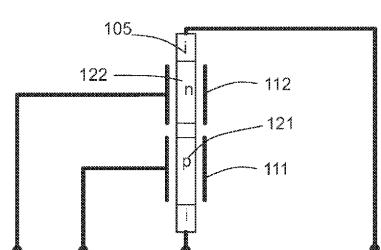


Fig. 2B

【図 3】

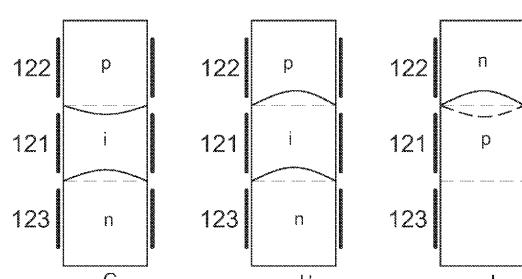
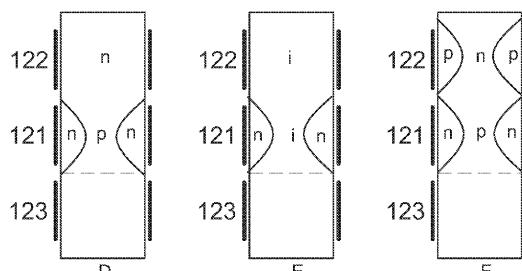
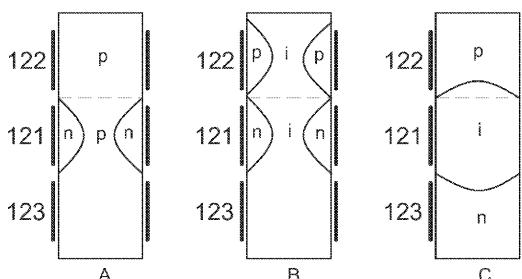


Fig. 3

【図 4 A】

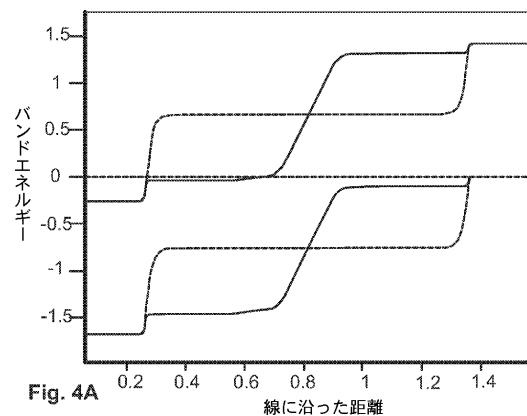


Fig. 4A 線に沿った距離

【図 4 C】

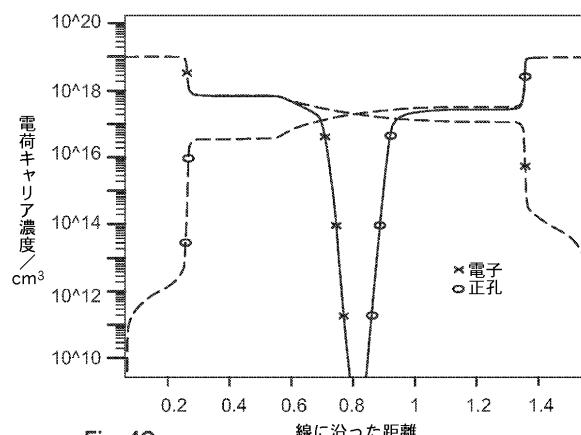


Fig. 4C 線に沿った距離

【図 4 B】

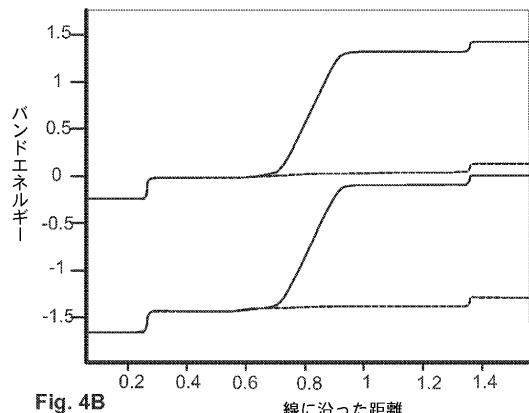


Fig. 4B 線に沿った距離

【図 5 A】

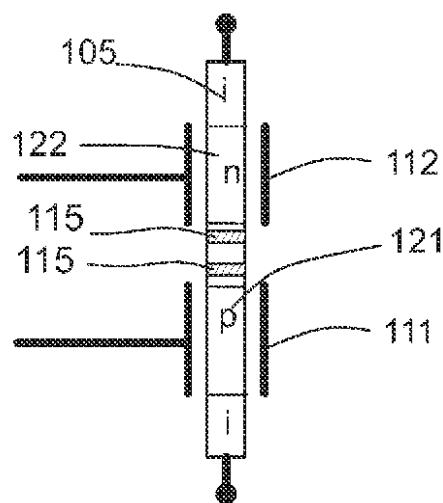


Fig. 5A

【図 5 B】

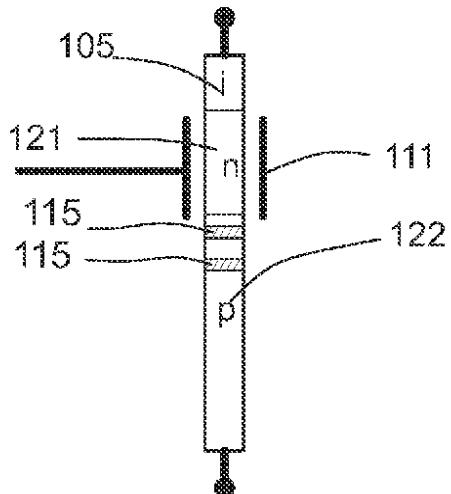


Fig. 5B

【図 6】

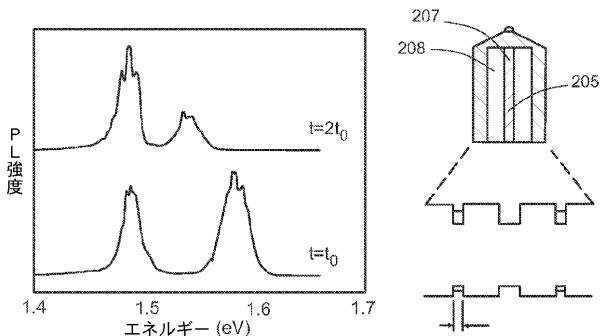


Fig. 6

【図 7 B】

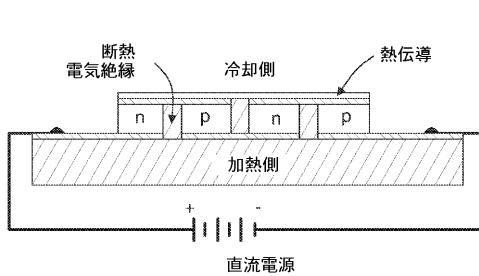


Fig. 7B

【図 7 A】

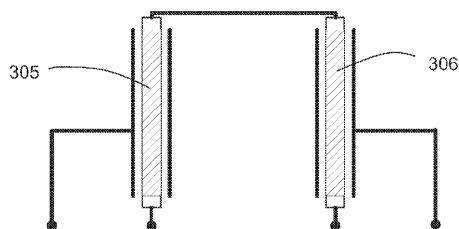


Fig. 7A

【手続補正書】

【提出日】平成22年12月2日(2010.12.2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも第1の半導体ナノワイヤ(105)を備えた半導体デバイスであって、前記第1のナノワイヤ(105)は、第1の導電型の第1の縦方向領域(121)と、第2の導電型の第2の縦方向領域(122)と、前記ナノワイヤ(150)の前記第1の縦方向領域(121)に配置された少なくとも第1のラップゲート電極とを備え、電圧が前記第1のラップゲート電極(111)に印加された場合に前記第1の縦方向領域(121)と関連付けられた前記ナノワイヤ(105)の少なくとも第1の部分(101)において電荷キャリア濃度を変更し、少なくとも前記第1の縦方向領域(121)は、前記第1のナノワイヤ(105)に配置されていることを特徴とする半導体デバイス。

【請求項2】

前記第2の縦方向領域(122)は、前記ナノワイヤ(105)の長さに沿って前記第1の縦方向領域(121)と一列に配置されることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項3】

前記第2の縦方向領域(122)は、前記第1のナノワイヤと電気的に接続されている第2のナノワイヤ(106)に配置されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項 4】

第2のラップゲート電極(112)は、電圧が前記第2のラップゲート電極(112)に印加された場合に前記第2の縦方向領域(122)と関連付けられた少なくとも一部分(102)において電荷キャリア濃度を変更するために、前記第2の縦方向領域(122)に配置されていることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 5】

前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、同一の導電型であることを特徴とする請求項1又は4に記載の半導体デバイス。

【請求項 6】

少なくとも前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、組成及びドーピングの少なくとも一方に関して同一であることを特徴とする請求項5に記載の半導体デバイス。

【請求項 7】

前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、異なる組成の少なくとも2つのヘテロ構造セグメントを含むことを特徴とする請求項5に記載の半導体デバイス。

【請求項 8】

前記第1の縦方向領域(121)と前記第2の縦方向領域(122)との間の界面(116)において擬似的な縦方向接合(114)を含み、前記接合(114)の各側に異なる導電型を有し、且つ、前記接合(114)の一方側に前記部分(101)を有し、前記接合は、前記電圧が印加された場合に形成されることを特徴とする請求項1乃至7のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 9】

前記擬似的な縦方向接合(114)は、p n接合であることを特徴とする請求項8に記載の半導体デバイス。

【請求項 10】

前記第1の縦方向領域(121)及び前記第2の縦方向領域(122)は、異なる導電型であることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 11】

一方側に前記部分(101)を有する、前記第1の縦方向領域(121)と前記第2の縦方向領域(122)との間の界面(116)は、各側に異なる導電型を有する縦方向接合(114)を含み、前記第1のラップゲート電極(111)は、前記電圧が印加された場合に前記縦方向接合(114)を移動するように構成されていることを特徴とする請求項10に記載の半導体デバイス。

【請求項 12】

前記第1のナノワイヤ(105)は第3の縦方向領域(123)を含み、前記第1の縦方向領域(121)は前記第2の縦方向領域(122)と前記第3の縦方向領域(123)との間に配置され、1つ以上のラップゲート電極(111、112、113)は、p型領域とn型領域との間の空乏領域の幅及び位置を制御するように構成されていることを特徴とする請求項1乃至11のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 13】

前記ナノワイヤ(105)は、前記第1のラップゲート電極(111)を有する前記第1の領域(121)及び前記第2のラップゲート電極(112)を有する前記第2の領域(122)により形成された擬似的な接合(114)を含み、前記擬似的な接合(114)は、前記第1の領域(121)及び前記第2の領域(122)のいずれか一方がp型領域であり、且つ、他方がn型領域であるように前記電荷キャリア濃度を変更するように構成されていることを特徴とする請求項4乃至12のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項 14】

前記領域（121、122、123）及び前記1つ以上のラップゲート電極（111、112、113）は、光を生成するための擬似的なp n接合又はp i n接合を提供し、アクティブな領域は、異なる波長を有する光を生成するために異なる組成及び/又は次元のヘテロ構造セグメント間で移動されるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至13のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項15】

前記領域（121、122、123）及び前記1つ以上のラップゲート電極（111、112、113）は、光を生成するための擬似的なp n接合を提供し、アクティブな領域は、異なる波長を有する光を生成するために傾斜組成のナノワイヤセグメントに沿って移動されるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至14のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項16】

前記ナノワイヤ（105）は、コア（107）と、径方向のヘテロ構造を形成する少なくとも第1のシェル層（108）とを含み、前記第1のラップゲート電極（111）は、電圧が前記第1のラップゲート電極（111）に印加された場合に前記第1のナノワイヤ（105）の前記第1の縦方向領域（121）の径方向において前記電荷キャリア濃度を変更するために使用されるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項17】

前記径方向のヘテロ構造は、前記電圧が印加された場合に光を生成するためのアクティブな領域を含むように構成されていることを特徴とする請求項16に記載の半導体デバイス。

【請求項18】

前記第1のナノワイヤ（105）の少なくとも前記第1の縦方向領域（121）は、前記第1の縦方向領域（121）の前記電荷キャリア濃度の変更により変更される強磁性特性を有する磁気半導体材料を含んでいることを特徴とする請求項1乃至17のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項19】

前記第1のラップゲート電極（411）は、前記第1の領域（421）の前記強磁性をオン及びオフに切り替えるために、前記第1のナノワイヤ（405）の前記第1の領域（421）に配置されていることを特徴とする請求項18に記載の半導体デバイス。

【請求項20】

前記ナノワイヤ（105、106）は、基板（102）の上にエピタキシャル配置され、前記ナノワイヤ（105、106）は、前記基板から突出していることを特徴とする請求項1乃至19のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項21】

前記第1のナノワイヤは、長さに沿って分布された一連の量子井戸を含み、1つ以上のラップゲート電極は、前記量子井戸のいずれかに対して光を生成するためのアクティブな領域を調整するために、前記ナノワイヤの長さに沿って異なる位置に配置されていることを特徴とする請求項1乃至20のうちいずれか1項に記載の半導体デバイス。

【請求項22】

第1のナノワイヤ（105）の第1の領域（121）に配置された少なくとも第1のラップゲート電極（111）を使用して前記第1のナノワイヤ（105）の特性を変調する方法であって、

電圧が前記第1のラップゲート電極（111）に印加された場合に前記第1のナノワイヤ（105）の前記第1の領域（121）の強磁性特性、又は、電荷キャリア濃度及び電荷キャリア型の少なくとも一方を変更するステップを含むことを特徴とする方法。

【請求項23】

前記電荷キャリア濃度及び前記電荷キャリア型の少なくとも一方を変更する前記ステップは、前記電圧が前記第1のラップゲート電極（111）に印加された場合に擬似的なp

η 接合を提供することを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 1 A】

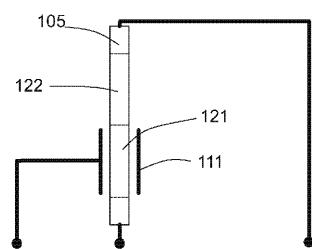


Fig. 1A

【図 1 B】

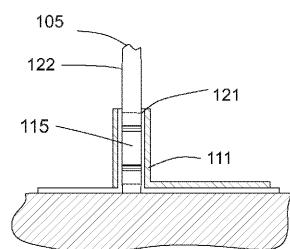


Fig. 1B

【図 2 A】

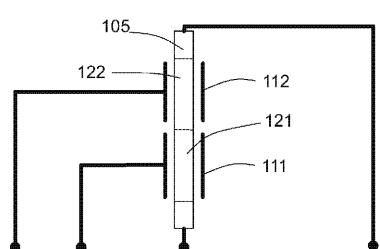


Fig. 2A

【図 2 B】

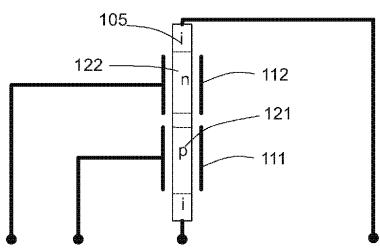


Fig. 2B

【図3】

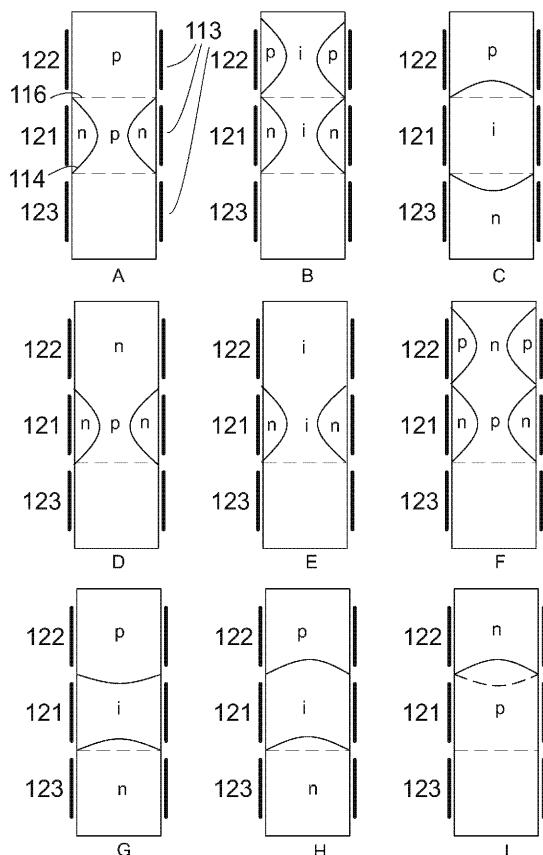


Fig. 3

【図4 A】

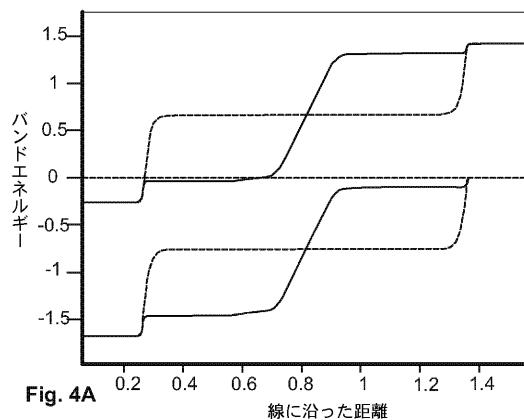


Fig. 4A

【図4 B】

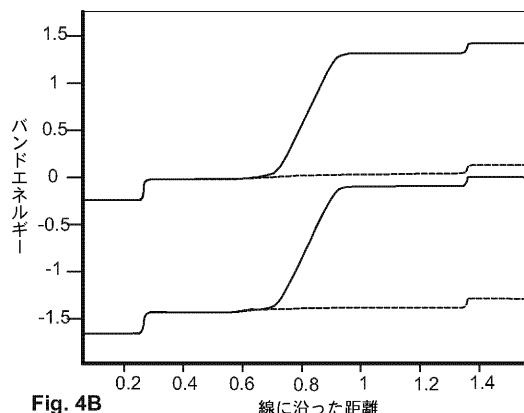


Fig. 4B

【図4 C】

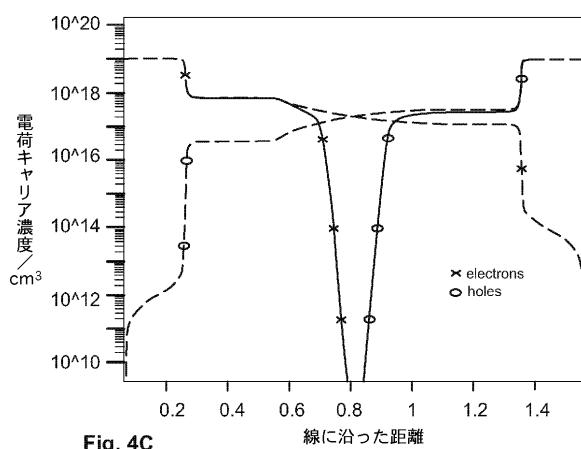


Fig. 4C

【図5 A】

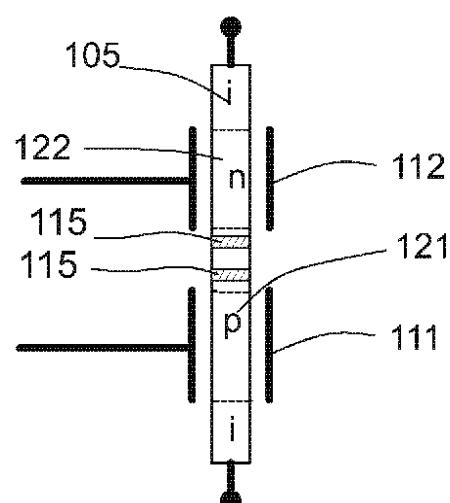


Fig. 5A

【図 5 B】

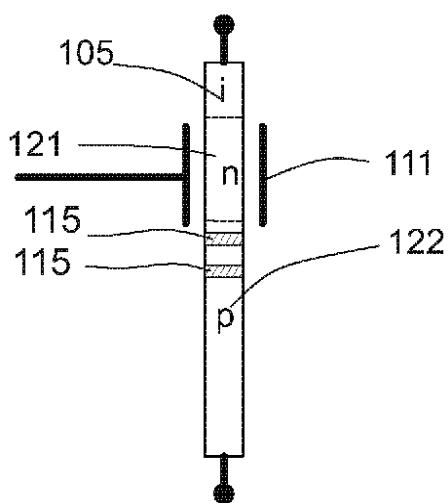


Fig. 5B

【図 6】

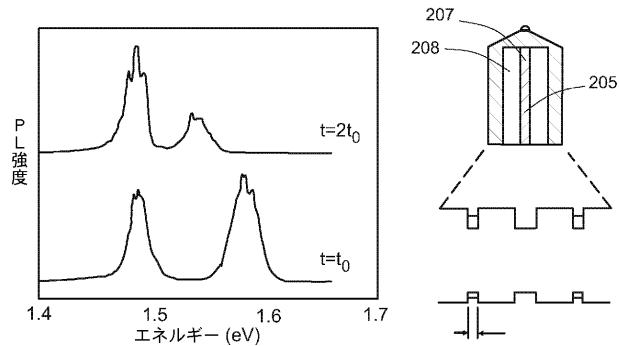


Fig. 6

【図 7 A】

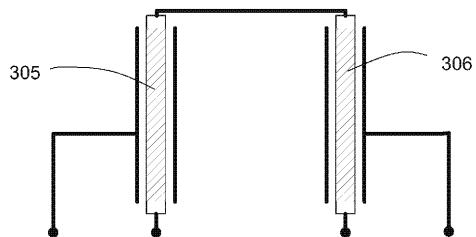


Fig. 7A

【図 7 B】

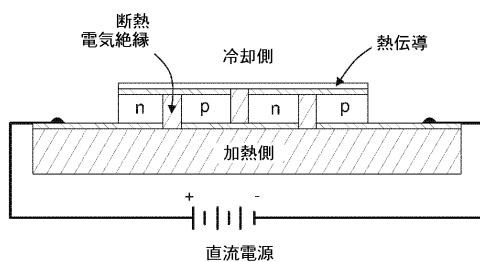


Fig. 7B

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/SE2009/050388
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC: see extra sheet 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)		
IPC: H01L, B82B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched SE,DK,FI,NO classes as above		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-INTERNAL, WPI DATA, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 20070052012 A1 (FORBES), 8 March 2007 (08.03.2007), figures 3,8-9, abstract, paragraphs (0009)-(0010),(0028-(0032),(0045)-(0047)	1-3,8-12,20, 22-23
Y	---	13
X	DE 102006009721 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG), 6 Sept 2007 (06.09.2007), figure 3A, abstract, paragraphs (0014),(0031),(0067)	1,4
X	EP 1804286 A1 (INTERUNIVERSITAIR MICROELEKTRONICA CENTRUM), 4 July 2007 (04.07.2007), figure 12A, abstract, paragraphs (0156)-(0157)	5-6
Y	---	7
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> 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		
Date of the actual completion of the international search 23 July 2009		Date of mailing of the international search report 24-07-2009
Name and mailing address of the ISA/ Swedish Patent Office Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. +46 8 666 02 86		Authorized officer Cecilia Häkansson / JA A Telephone No. +46 8 782 25 00

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/SE2009/050388

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 2004034467 A2 (DEHON, ANDRE ET AL), 22 April 2004 (22.04.2004), figures 3,4, abstract, paragraphs (0035)-(0040) --	7
X	WO 2008034850 A2 (QUNANO AB), 27 March 2008 (27.03.2008), page 17, line 15 - page 18, line 22, figure 10, abstract --	16-17
A	WO 0051186 A1 (CLAWSON, JOSEPH, E.), 31 August 2000 (31.08.2000), whole document --	1,8-11,15, 22-23
A	WO 2005076363 A1 (FORSHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH), 18 August 2005 (18.08.2005), abstract --	16-17
A	JP 2007184566 A, CANON INC. 2007-07-19: (abstract) Retrieved from: PAJ database -----	14-15,21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/SE2009/050388
--

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Se Supplemental Box

... / ...

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of any additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/SE2009/050388

Box III

A posteriori, the following separate inventions were identified:

1: Claims 1-4, 8-15 and 18-23 directed to a nanowire semiconductor device with a first lengthwise region of a first conductivity type and a second lengthwise region of a second conductivity type

2: Claims 5-7 directed to a nanowire semiconductor device where a first and a second lengthwise region have the same conductivity type.

3: Claims 16-17 directed to nanowire semiconductor device with a core-shell structure, where the junction is formed at the interface between the core and shell.

The present application has been considered to contain 3 inventions which are not linked such that they form a single general inventive concept, as required by Rule 13 PCT for the following reasons:

The single general concept of the present application is the teaching that a nanowire semiconductor device with a first wrap gate situated on a first lengthwise region of a first conductivity type. On the first region is a second lengthwise region arranged with a second conductivity type. The charge carrier concentration is varied when a voltage is applied to the wrap gate electrode.

The most relevant prior art is represented by US20070052012 A1 (D1). Document D1 (see abstract, paragraphs (0009)-(0010), (0028-0032), (0045-00047) figures 3, 8-9) describes a nanowire semiconductor device where nanowire protrudes from a p-doped substrate. The region closest to the substrate is p-doped and the top of the nanowire is n-doped. A wrap-gate surrounds the p-doped part of the nanowire. When the gate is biased, n-like channels are created along the sidewalls of the p-doped nanowire allowing electrons tunnel from substrate to the n-doped part of the nanowire.

Thus, the single general concept is known and cannot be considered as a single general inventive concept in the sense of Rule 13.1 PCT.

.../...

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/SE2009/050388

Box III

No other features can be distinguished which can be considered as the same or corresponding special technical features in the sense of Rule 13.2 PCT.

Thus, the application lacks unity of invention.

Nevertheless, a search has been carried out which related to the subject matter of all claims and all the inventions mentioned above.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/SE2009/050388

International patent classification (IPC)

B82B 1/00 (2006.01)
H01L 29/06 (2006.01)
H01L 29/12 (2006.01)
H01L 29/775 (2006.01)
H01L 29/778 (2006.01)

Download your patent documents at www.prv.se

The cited patent documents can be downloaded:

- From "Cited documents" found under our online services at www.prv.se (English version)
- From "Anförla dokument" found under "e-tjänster" at www.prv.se (Swedish version)

Use the application number as username. The password is **WEJYETNEMB**.

Paper copies can be ordered at a cost of 50 SEK per copy from PRV InterPat (telephone number 08-782 28 85).

Cited literature, if any, will be enclosed in paper form.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.	
PCT/SE2009/050388	

US	20070052012	A1	08/03/2007	NONE	
DE	102006009721	A1	06/09/2007	NONE	
EP	1804286	A1	04/07/2007	NONE	
WO	2004034467	A2	22/04/2004	AT	360873 T 15/05/2007
				AT	421147 T 15/01/2009
				AU	2003298529 A 29/07/2004
				AU	2003298530 A 04/05/2004
				DE	60313462 D,T 03/01/2008
				DE	60325903 D 05/03/2009
				EP	1525585 A 27/04/2005
				EP	1525586 A,B 25/04/2007
				EP	1758126 A 14/03/2007
				JP	2005539404 T 22/12/2005
				JP	2006512782 T 13/04/2006
				WO	2004061859 A 03/02/2005
WO	2008034850	A2	27/03/2008	NONE	
WO	0051186	A1	31/08/2000	EP	1159761 A 19/04/2006
				JP	4039600 B 30/01/2008
				JP	2002538606 T 12/11/2002
				JP	2006231513 A 07/09/2006
WO	2005076363	A1	18/08/2005	DE	102004005363 A 08/09/2005
				EP	1711964 A 18/10/2006
				JP	2007535137 T 29/11/2007
				US	20070267626 A 22/11/2007

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 01 L 33/20 (2010.01)	H 01 L 33/00	170
H 01 L 35/18 (2006.01)	H 01 L 35/18	

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(74) 代理人 100130409

弁理士 下山 治

(72) 発明者 オールソン, ヨナス

スウェーデン国 マルメ エス-212 13, クングスガタン 33

(72) 発明者 サミュエルソン, ラーシュ

スウェーデン国 マルメ エス-211 19, イスベリスガタン 28

(72) 発明者 リンド, エリク

スウェーデン国 ルンド エス-224 60, ラゲルブリングス ヴェグ 8エー

F ターム(参考) 5F041 CA04 CA05 CA36 CB36