

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4009727号
(P4009727)

(45) 発行日 平成19年11月21日(2007.11.21)

(24) 登録日 平成19年9月14日(2007.9.14)

(51) Int. Cl.		F I	
CO1G	15/00	(2006.01)	CO1G 15/00 J
B82B	1/00	(2006.01)	B82B 1/00
B82B	3/00	(2006.01)	B82B 3/00

請求項の数 8 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2003-418742 (P2003-418742)</p> <p>(22) 出願日 平成15年12月16日(2003.12.16)</p> <p>(65) 公開番号 特開2005-179087 (P2005-179087A)</p> <p>(43) 公開日 平成17年7月7日(2005.7.7)</p> <p>審査請求日 平成16年8月2日(2004.8.2)</p> <p>特許法第30条第1項適用 Advanced Materials誌 (Volume15, Issue12, pp. 1000~1003) に2003年6月16日、ウェブ(Web)にて発表</p>	<p>(73) 特許権者 301023238 独立行政法人物質・材料研究機構 茨城県つくば市千現一丁目2番地1</p> <p>(72) 発明者 板東 義雄 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研究機構内</p> <p>(72) 発明者 ジンツイ・フウ 茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立行政法人物質・材料研究機構内</p> <p>審査官 壺内 信吾</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブとその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

酸化ガリウムナノチューブの外表面が、酸化亜鉛の層で被覆されていることを特徴とする酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブ。

【請求項2】

ナノチューブの空隙の一部または全部に、ガリウムが充填されていることを特徴とする請求項1に記載の酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブ。

【請求項3】

酸化ガリウムナノチューブの内径が $80\text{nm} \pm 10\text{nm}$ 、壁厚が $25\text{nm} \pm 10\text{nm}$ で、酸化亜鉛の層の厚さが $15\text{nm} \pm 10\text{nm}$ であって、長さが数 μm ~ 数十 μm であることを特徴とする請求項1または2に記載の酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブ。

10

【請求項4】

アモルファスであることを特徴とする請求項1ないし3いずれかに記載の酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブ。

【請求項5】

543nm近傍にフォトルミネッセンススペクトルを有することを特徴とする請求項1ないし4いずれかに記載の酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブ。

【請求項6】

酸化亜鉛粉末と酸化ガリウム粉末の混合物をグラファイトるつぼに入れ、不活性ガス気流中、1200~1500 で1.5~2時間加熱することを特徴とする酸化亜鉛-酸化

20

ガリウムナノチューブの製造方法。

【請求項 7】

加熱には、縦型高周波誘導加熱炉を用いることを特徴とする請求項 6 記載の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの製造方法。

【請求項 8】

炉内の誘導加熱シリンダが、炭素繊維からなる断熱層で覆われていることを特徴とする請求項 6 または 7 記載の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この出願の発明は、酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブとその製造方法に関するものである。さらに詳しくは、この出願の発明は、触媒、磁気記録、高性能セラミックス、マイクロエレクトロニクス部品等として電子、光学、機械等の様々な分野において利用が期待される酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブとその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

一次元ナノスケール材料は、バルク材料には見られないユニークな電氣的、光学的、機械的性質を有し、触媒、磁気記録、高機能セラミックスや超小型電子部品等として様々な分野での応用が期待できることから、近年多大な関心を集めている。そして従来より、様々な組成および形態のナノチューブおよびナノワイヤーについての報告がなされており、特に最近では、層状に複合化したナノ構造物について大きな関心が示されている。たとえば、これまでに、共軸ナノケーブル (coaxial nanocables) および共軸ナノチューブ (coaxial nanotubes) 等といわれる多層ナノ構造物が、様々な方法によって製造できることが報告されている。

【0003】

具体的に例をあげると、炭化ケイ素ナノワイヤーの外側に、アモルファス二酸化珪素、炭素、窒化ホウ素等の層をそれぞれ成長させた多層構造のナノケーブルが、レーザー・アブレーション法によって製造されている (非特許文献 1)。また、珪素を芯 (コア) とし、中間層として二酸化ケイ素、外層として炭素を有する多層構造のナノケーブルが、レーザー・アブレーションと熱蒸発を組み合わせた方法で製造されている (非特許文献 2)。さらに、炭素 (コア) - 窒化ホウ素 (中間層) - 炭素 (外層) で構成される三層ナノケーブルが、アーク放電方法により製造されている (非特許文献 3)。

【0004】

また、カーボンナノチューブをテンプレートとし、化学的挿入、物理的挿入、アークカプセル充填、あるいは固相からの触媒成長によるカプセル化等といった様々な充填技術を利用して、カーボンナノチューブの内部に他の材料をカプセル充填し、様々な種類のナノケーブルが製造されている。

【非特許文献 1】 Y. Zhang、外、「サイエンス (Science)」, 281 巻, p. 973, 1998 年

【非特許文献 2】 W. Shi、外、「アドバンスド・マテリアルズ (Adv. Mater.)」, 12 巻, p. 1927, 2000 年

【非特許文献 3】 K. Suenaga、外、「サイエンス (Science)」, 278 巻, p. 653, 1997 年

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来の多層ナノ構造物は構成する材料の組み合わせが乏しく、その利用性は限られたものになってしまっていた。もし上記のとおり多層ナノ構造物が、たとえば半導体と絶縁体あるいは金属材料からなる多層構造物として実現されれば、一次元ナノ構造物内で軸方向に異なる電子特性の材料を一体化させることができるなど、その有用性

10

20

30

40

50

は飛躍的に高まることが期待できる。そのため、様々な分野の人々により、様々な種類の材料等が組み合わされた多層ナノ構造の製造が試みられている。

【0006】

さらに、上記の従来の多層ナノ構造物の製造方法は、レーザー・アブレーション法、アーク放電法、またはそれらに熱蒸発法が組み合わされた、複雑な反応プロセスによるものであった。

【0007】

そこで、以上のとおりの事情に鑑み、この出願の発明は、触媒、磁気記録、高性能セラミックス、マイクロエレクトロニクス部品等といった電子分野、光学分野、機械部品、その他の様々な潜在的応用分野において有用となる、一次元ナノスケール材料の1つ、酸化亜鉛で被覆された酸化ガリウムナノチューブと、その簡易な製造方法を提供することを課題としている。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

この出願の発明は、上記の課題を解決するものとして、第1には、酸化ガリウムナノチューブの外表面が、酸化亜鉛の層で被覆されていることを特徴とする酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブを提供する。

【0009】

そしてこの出願の発明は、第2には、ナノチューブの空隙の一部または全部に、ガリウムが充填されていることを特徴とする酸化亜鉛 酸化ガリウムナノチューブを、第3には、酸化ガリウム製のチューブの内径が $80\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$ 、壁厚が $25\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$ で、酸化亜鉛の層の厚さが $15\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$ であって、長さが数 μm ~ 数十 μm であることを特徴とする酸化亜鉛 酸化ガリウムナノチューブを、第4には、アモルファスであることを特徴とする酸化亜鉛 酸化ガリウムナノチューブを、第5には、543 nm 近傍にフォトルミネッセンススペクトルを有することを特徴とする酸化亜鉛 酸化ガリウムナノチューブを提供する。

20

【0010】

さらにこの出願の発明は、第6には、酸化亜鉛粉末と酸化ガリウム粉末の混合物をグラファイトのつぼに入れ、不活性ガス気流中、1200 ~ 1500 で1.5 ~ 2時間加熱することを特徴とする酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの製造方法を提供する。

30

【0011】

またこの出願の発明は、第7には、加熱には、縦型高周波誘導加熱炉を用いることを特徴とする製造方法を、第8には、炉内の誘導加熱シリンダが、炭素繊維からなる断熱層で覆われていることを特徴とする製造方法を提供する。

【発明の効果】

【0012】

上記のとおりこの出願の発明によって、酸化亜鉛および酸化ガリウムという2種類の2元系酸化物からなる二層構造を一次元ナノスケールで実現することができ、さらには、その二層構造を有するナノチューブの中に金属ガリウムが充填されたナノワイヤーをも実現することができる。この材料は、酸化亜鉛および酸化ガリウム単独とは異なる性質を示すことが期待でき、触媒、磁気記録、高性能セラミックス、マイクロエレクトロニクス部品等としての応用が期待できる新規な材料である。また、この出願の発明の方法によって、この酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブを簡易なプロセスで容易に製造することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

この出願の発明は上記のとおりの特徴をもつものであるが、以下にその実施の形態について説明する。

【0014】

50

この出願の発明が提供する酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、酸化ガリウムナノチューブの外表面が、酸化亜鉛の層で被覆されていることを特徴としている。

【0015】

この出願の発明における酸化ガリウムナノチューブは、代表的には、内径が約80nm、壁厚が約25nm程度であって、長さは数 μm ~数十 μm 程度の範囲で任意のものとする事ができる。そして、この酸化ガリウムナノチューブの外表面は、約15nmの均一な厚みの酸化亜鉛の層で被覆されて一体化されており、この出願の発明の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブを構成している。なお、ここで、寸法における「約」との意味は、内径および厚みについて、 $\pm 10\text{nm}$ 程度の範囲のものをも含むことを示している。そして、酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブ全体として、外径は、代表的には約150nm 10

この酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、長さ方向にまっすぐなもの、湾曲しているもの、枝分かれているものなど、様々な形態のものを含むことができる。

【0016】

このようなこの出願の発明の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、酸化亜鉛および酸化ガリウムの2種類の2元系酸化物が半径方向に積層して、一次元ナノスケールの二層構造物を実現しているといえる。

【0017】

この出願の発明の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブにおいて、酸化ガリウムの化学組成は、一般式 Ga_2O_3 で表される化学量論組成と同一もしくは極めて近いものとする事ができ、酸化亜鉛については、一般式 ZnO で表される化学量論組成のものとする事ができる。そして、この酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、そのままの状態では結晶ではなく、アモルファスである。 20

【0018】

またさらにこの出願の発明が提供する酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、上記の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの空隙の一部または全部に、金属ガリウムが充填されていることを特徴としている。

【0019】

酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブ内へのガリウムの充填の様子は多様であって、長さの長い酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの空隙が全て満たされているものをはじめ 30

、チューブの湾曲部が充填されているものや、空隙の一部が満たされているものなど、様々なものとする事ができる。なかでも、空隙が全てガリウムで満たされている酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、ガリウム(コア) - 酸化ガリウム(中間層) - 酸化亜鉛(外層)からなる多層ナノ構造物であるともいえる。

【0020】

そして、この出願の発明の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、室温で、波長325nmのHe-Cdレーザーを励起源として用いた場合、543nm近傍にフォトルミネッセンススペクトルを有することを特徴としている。これは、ガリウムが充填されているものないものともに、同じ特性を示す。この発光帯は、酸化亜鉛および酸化ガリウム単独での発光帯とは異なることから、酸化亜鉛および酸化ガリウムが層状に複合化すること 40

によって生まれた性状である。

【0021】

このように、この出願の発明の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、それぞれ単独の組成からなるナノチューブとは異なった新規な性状を有しており、さらなる新しい特性が見出されることが期待される。

【0022】

以上のようなこの出願の発明の酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、たとえば以下のこの出願の発明の製造方法により、容易に製造することができる。

【0023】

すなわち、この出願が提供する酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの製造方法は、酸 50

化亜鉛粉末と酸化ガリウム粉末の混合物をグラファイトるつぼに入れ、不活性ガス気流中、1200～1500 で1.5～2時間加熱することを特徴としている。

【0024】

出発材料の酸化亜鉛粉末と酸化ガリウム粉末は、純度や粒径等に厳密な制限はなく、たとえば、アルドリッチ社製の酸化亜鉛粉末（ZnO、純度99.9%）および酸化ガリウム粉末（Ga₂O₃、純度99.9%）等を使用することが、おおよその目安として例示される。

【0025】

酸化亜鉛粉末と酸化ガリウム粉末の配合は、重量比で、2.4：1～2.4：2程度の範囲とするのが好ましい。これよりも酸化亜鉛が多いと、得られる酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブにおける酸化ガリウムの部分に酸化亜鉛が混入しやすくなってしまうために好ましくない。またこれよりも酸化亜鉛が少ないと、得られる酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブにおける酸化亜鉛の層の厚さが極めて薄くなり、十分な機械的強度が得られにくくなるために好ましくない。

10

【0026】

上記の出発材料を入れるるつぼには、グラファイトるつぼを用いている。グラファイトるつぼは耐熱温度が高いだけでなく、酸化ガリウム（Ga₂O₃）粉末からGa₂O蒸気を発生させるのに効果的であると考えられるからである。

【0027】

不活性ガスとしては、アルゴン、ヘリウム、ネオン等の希ガスなどを用いることができる。不活性ガスはキャリアガスとしての役割をもち、その流量は、60～150 s c c mの範囲とするのが好適である。流量が60 s c c mよりも少ない場合には、酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの収量が減少してしまうために好ましくない。また、流量の上限は150 s c c m程度で十分であり、それよりも多いといたずらに不活性ガスを消費することになるので好ましくない。

20

【0028】

加熱温度は、1200～1500 程度の範囲が好ましく、より好ましくは、1300～1400 である。1500 よりも高い場合および1200 よりも低い場合には、酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブが極端に形成されにくくなってしまったために好ましくない。

30

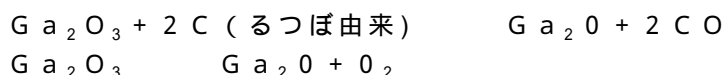
【0029】

加熱の時間は、1.5～2.5時間程度の範囲が好ましく、1.5時間よりも少ない場合には収量が低下することが多いために好ましくない。また、製造条件によっても異なってくるが、おおよその場合において、反応を完結させるには2.5時間で十分であるため、加熱時間の上限は2.5時間程度としている。

【0030】

このような条件で出発材料の酸化亜鉛粉末と酸化ガリウム粉末を加熱すると、まず、以下のとおりGa₂O蒸気が発生する。

【0031】



40

このGa₂O蒸気はキャリアガスによってすみやかに下流側の堆積ゾーンへ輸送され、蒸 - 固（VS）成長メカニズムによりGa₂Oナノチューブを形式する。その間、一部のGa₂O蒸気は適切な温度で以下のとおりCOと反応してGaとなり、生成したGa₂Oナノチューブの間隙に充填していくと考えられる。

【0032】



そしてこれらのGa₂Oナノチューブが酸化されることで、Ga₂O₃ナノチューブ（酸化ガリウムナノチューブ）が形成される。酸化亜鉛については、酸化ガリウムよりも高温で、すなわち遅れて蒸発し、またより低温で遅れて固化するため、先に形成されたGa₂

50

O_3 ナノチューブをテンプレートとし、その外表面を被覆する形で堆積して、この出願の発明の $\text{ZnO} - \text{Ga}_2\text{O}_3$ ナノチューブ (酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブ) を形成すると考えられる。この酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、灰白色のウール状の生成物として、堆積ゾーンに堆積する。製造される酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは、断面形状が略円形で、その先端は開口しており、約 70% のものが空隙の一部もしくは全部をガリウムで充填されている。

【0033】

このように、この出願の発明の方法は、熱的反応と物理的堆積を組み合わせた単純なプロセスで構成されている。

【0034】

以上のとおりの酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの製造には、加熱の際の温度制御が容易な点や、装置の構成の点等から、縦型高周波誘導加熱炉を用いることが好ましい例として上げられる。縦型高周波誘導加熱炉としては、たとえば、具体的には、透明溶融石英管の内部に誘導加熱シリンダが配置され、シリンダの上部と底部にキャリアガスのための入口パイプと出口パイプがそれぞれ備えられているもの等を用いることが好適である。この場合、透明溶融石英管と誘導加熱シリンダの間が堆積ゾーンとなる。さらに、誘導加熱シリンダが炭素繊維からなる断熱層で覆われている場合には、この断熱層の表面が好適な堆積ゾーンとなり、酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブは炭素繊維の表面に灰白色のウール状の生成物として堆積する。

【0035】

そこで以下に実施例を示し、さらに詳しく説明する。もちろん、以下の例によって発明が限定されることはない。

【実施例1】

【0036】

アルドリッチ社製の酸化亜鉛粉末 (純度 99.9%) 1.2 g とアルドリッチ社製の酸化ガリウム粉末 (純度 99.9%) 0.5 g の混合物を、外径 2.5 cm、高さ 2 cm、壁厚 3 mm のグラファイト製のつぼに入れた。このつぼを、縦型高周波誘導加熱炉の中の支持台に取り付けた。この加熱炉は、透明溶融石英管 (長さ 50 cm、外径 12 cm、壁厚 0.25 cm) の内部に高純度グラファイトからなる誘導加熱シリンダ (長さ 25 cm、外径 4.5 cm、内径 3.5 cm)、さらにその中にグラファイト製の支持台が設置された構成のものであり、誘導加熱シリンダは炭素繊維からなる断熱層で覆われ、シリンダの上部と底部にグラファイト製の入口パイプと出口パイプがそれぞれ備えられている。

【0037】

つぼを誘導加熱シリンダの中心部に移動させた後、ロータリーポンプを作動させて加熱炉内を 5×10^{-1} Torr の減圧にし、アルゴンガスを流量 80 sccm で流しながら、混合物を 1350 で 2 時間加熱した。なお、加熱時の石英管内部は大気圧であり、つぼ内の混合物の温度は精度 ± 10 の光高温計によって計測した。

【0038】

加熱終了後、加熱炉を室温まで冷却したところ、断熱のために用いた炭素繊維の表面に、灰白色のウール状の生成物が数 mg 堆積しているのが確認された。

【0039】

生成物を集め、X線エネルギー分散型分光計 (EDS) を備えた透過型電子顕微鏡 (TEM; JEM-3000F) を使用して観察した。図1は生成物の明領域のTEM像であり、得られた生成物の一般的な形態を示したものである。生成物は何れもナノメートルオーダーの一次元構造物の形態を有しており、その一部は外側が比較的暗く内側が明るく写っていることから中空のナノチューブであることがわかり、その他のほとんどのものは、長さ方向に沿って外側が明るく内側がより暗く写っていることから、ナノチューブの内部に充填物を含んだナノケーブルを形成していることがわかった。より詳細に観察すると、ナノチューブのチューブ壁部 (ナノチューブの暗部) とナノケーブルのチューブ壁部 (ナノケーブルの明部) のコントラストと厚さがほぼ同じであることから、ナノチューブ

10

20

30

40

50

の空隙内部に充填物が充填されることによってナノケーブルが形成されていることがわかった。このナノチューブの外径は約150 nm、内径は約80 nmで、壁の厚さは約40 nm、長さは数 μm ~10数 μm であった。

【0040】

図1の挿入図は生成物から得られた電子回折パターンであるが、広がったリングだけが表れ、回折スポットが見られなかったことから、得られたナノチューブおよびナノケーブルがアモルファスであることがわかった。

【0041】

図2に生成物の高分解能TEM像を示した。このナノチューブには内側と外側とで異なる層を形成し、外側の層と内側の層の間には明瞭な界面がみられ、ナノチューブが二層構造であることがわかった。外側の層は約15 nm、内側の層は約25 nmで、共に均一な厚さの層を構成していた。図のより明るい方のコントラストの層が外側の層で、より暗いコントラストの層が内側の層である。このTEM像では、いずれの層にも結晶格子を確認することができず、得られたナノチューブがアモルファスであることを明らかにしている。

10

【0042】

図3に、ナノチューブの外側の層のX線エネルギー拡散スペクトルを示した。亜鉛と酸素のピークが見られ、その原子比はほぼ1:1であることから、ナノチューブの外側の層は化学量論組成に近い酸化亜鉛(ZnO)であることがわかった。

【0043】

図4に、ナノチューブの内側の層のX線エネルギー拡散スペクトルを示した。ガリウム、酸素、亜鉛のピークが現れていた。その組成は、少量の酸化亜鉛(ZnO)が混じった三酸化ガリウム(Ga_2O_3)の化学量論組成に近似していることがわかった。酸化亜鉛は、三酸化ガリウムの内部ではなく界面近傍に存在していると考えられる。

20

【0044】

図5に、充填物を含んだナノチューブの、充填物のX線エネルギー拡散スペクトルを示した。この充填物は金属ガリウム(Ga)からなることがわかった。

【0045】

なお、図3~5には、何れも銅のピークが検出されているが、これは試料作製に用いる試料取り付け治具の銅グリッドに由来するものである。

30

【0046】

図6に、波長325 nmのHe-Cdレーザーを励起源として用い、室温で測定した、350~800 nmの範囲の生成物のフォトルミネッセンススペクトルを示した。このナノチューブおよびナノケーブルは、共に543 nmに中心を持つ幅広い緑色の発光を示す材料であることがわかった。

【0047】

以上のことから、この出願の発明の酸化亜鉛被覆酸化ガリウムナノチューブと、Ga充填酸化亜鉛被覆酸化ガリウムナノチューブが製造されたことが示された。

【0048】

もちろん、この出願の発明は以上の実施形態および実施例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能である。

40

【産業上の利用可能性】

【0049】

以上詳しく説明した通り、この出願の発明によって、2種類の二元系酸化物からなる積層構造を1次元ナノスケールで実現した酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブと、単純なプロセスで構成されるその製造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】実施例で得られた酸化亜鉛-酸化ガリウムナノチューブの透過型電子顕微鏡像を例示した図であって、挿入図は、その電子線回折パターンである。

50

【図2】実施例で得られたGaが充填された酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの縦断面の高解像度透過型電子顕微鏡像を例示した図である。

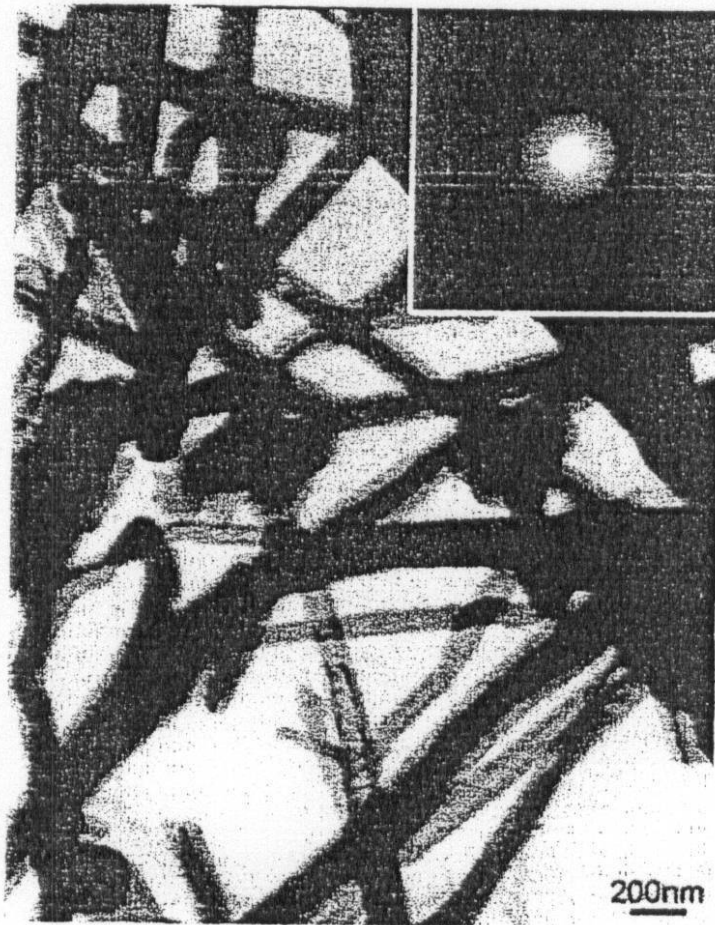
【図3】実施例で得られたGaが充填された酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの、外側の層のX線エネルギー拡散スペクトルを例示した図である。

【図4】実施例で得られたGaが充填された酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの、内側の層のX線エネルギー拡散スペクトルを例示した図である。

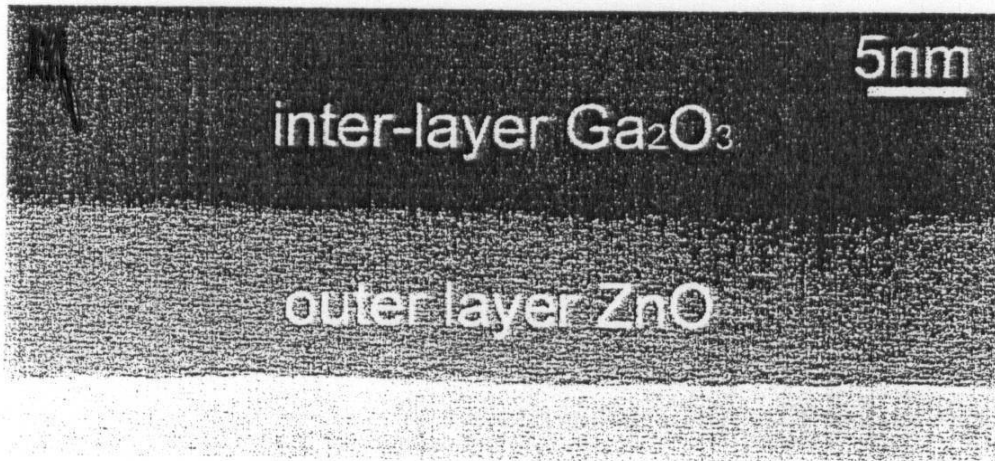
【図5】実施例で得られたGaが充填された酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブの、充填物のX線エネルギー拡散スペクトルを例示した図である。

【図6】Gaが充填された酸化亜鉛 - 酸化ガリウムナノチューブのフォトルミネッセンススペクトルである。

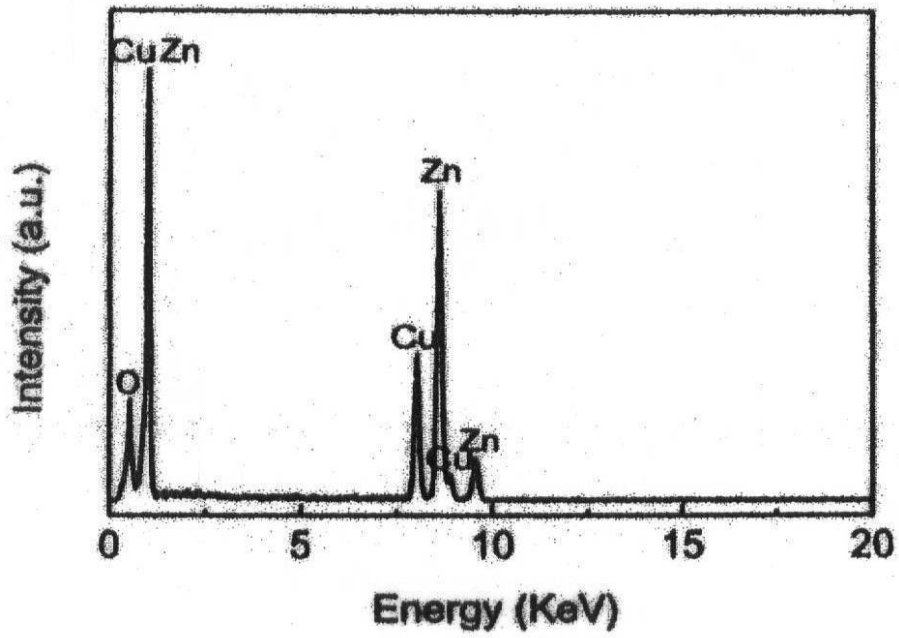
【 図 1 】



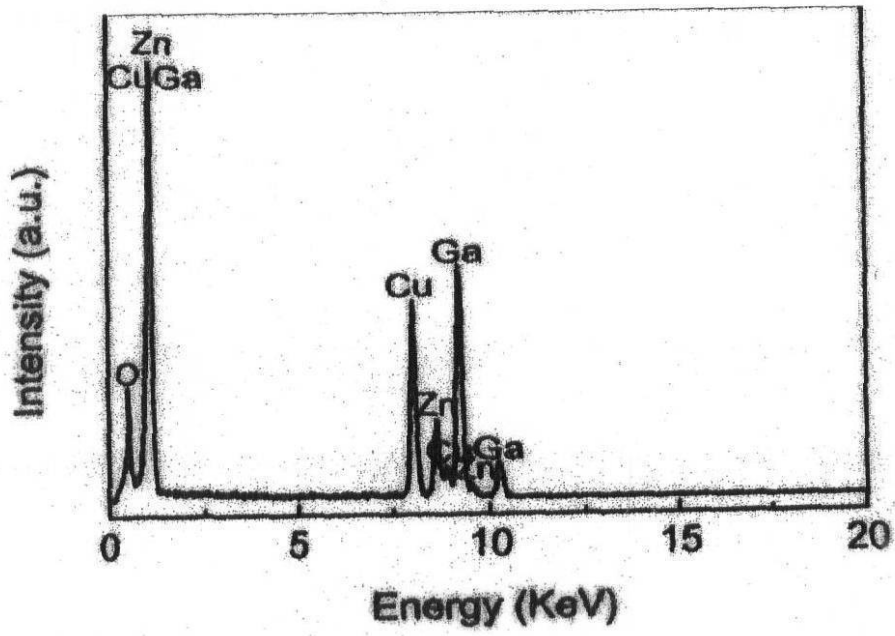
【 図 2 】



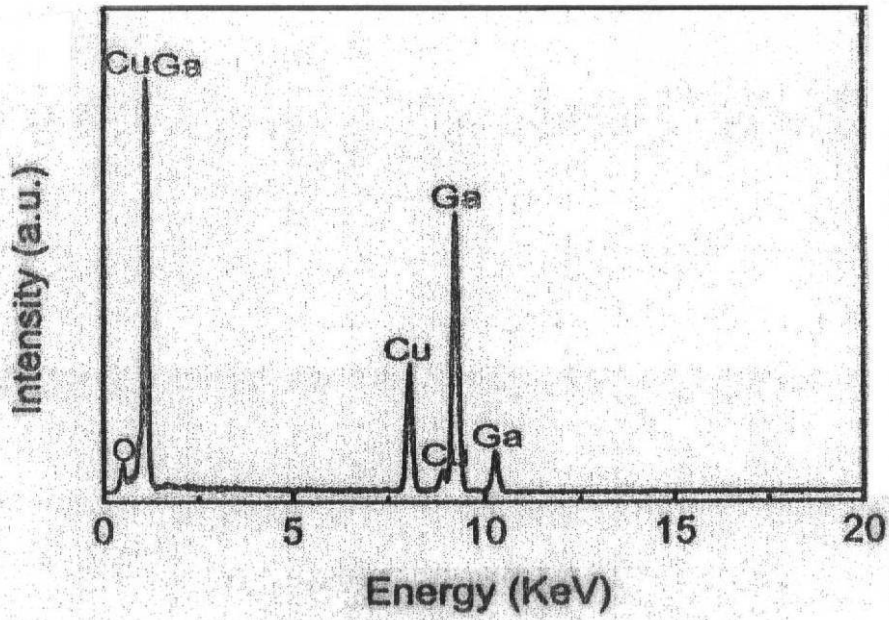
【 図 3 】



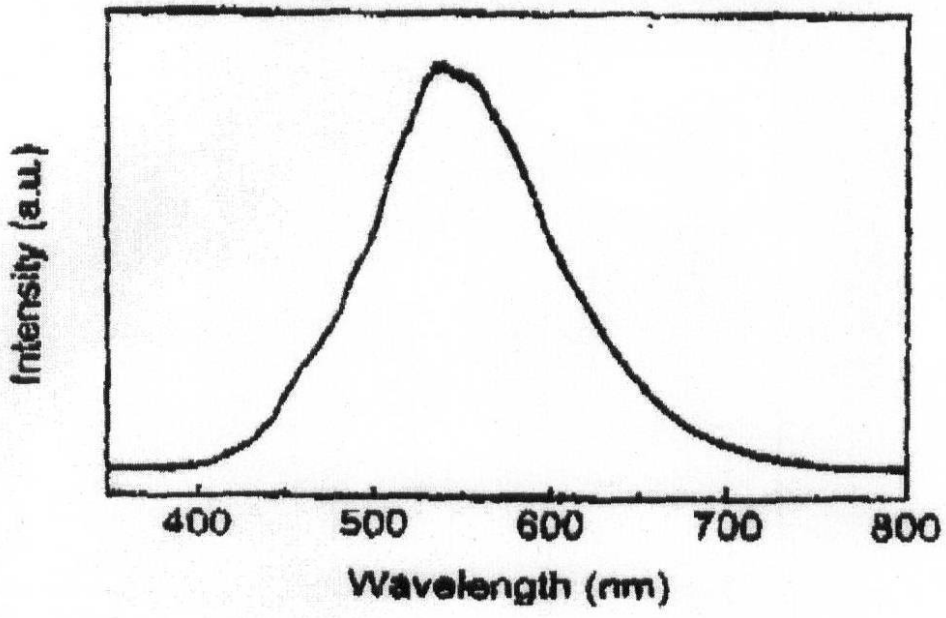
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 J. Hu et al. , Synthesis of Gallium-Filled Gallium Oxide-Zinc Oxide Composite Coaxial Nanotubes , Advanced Materials , 2003年 6月17日 , Vol.15, No.12 , pp.1000-1003

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

C01G1/00 - 23/08

C30B1/00 - 35/00

CAplus(STN)

Science Citation Index Expanded(Web of Science)

JST7580(JDream2)

JSTPlus(JDream2)