

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4327254号  
(P4327254)

(45) 発行日 平成21年9月9日(2009.9.9)

(24) 登録日 平成21年6月19日(2009.6.19)

(51) Int.Cl. F I  
HO 1 L 21/20 (2006.01) HO 1 L 21/20

請求項の数 13 (全 11 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平10-527386 (86) (22) 出願日 平成9年12月15日(1997.12.15) (65) 公表番号 特表2001-506806(P2001-506806A) (43) 公表日 平成13年5月22日(2001.5.22) (86) 国際出願番号 PCT/FR1997/002298 (87) 国際公開番号 W01998/027578 (87) 国際公開日 平成10年6月25日(1998.6.25) 審査請求日 平成16年12月14日(2004.12.14) (31) 優先権主張番号 96/15435 (32) 優先日 平成8年12月16日(1996.12.16) (33) 優先権主張国 フランス(FR)</p>	<p>(73) 特許権者 コミツサリア タ レネルジー アトミー ク フランス国 75015 パリ リュ ド ウ ラ フェデラシオン 31-33 (73) 特許権者 センター ナショナル デ ラ リシエル シェ サイエントフィック フランス国 75794 パリ セデック ス 16 リュ ミシェル アンジュ 3 (74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (74) 代理人 弁理士 渡邊 隆</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極長高安定性原子ワイヤ、これを形成する方法、およびそのナノエレクトロニクスへの応用

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一組の N 列原子ワイヤ (N は 1 より大きいか又は 1 に等しい整数) であって、原子ワイヤは SiC 基板の表面上に形成された、Si または C のいずれかの元素のダイマーの直線状の鎖であり、これら鎖は、互いに平行でかつ実質的に互いに等距離であるとともに、前記ダイマーの方向に対して垂直の方向に前記基板の一端から他端まで延びていることを特徴とする一組の N 列原子ワイヤ。

【請求項 2】

前記表面が Si- 終端した -SiC(100) の表面であり、前記鎖が Si-Si ダイマーの鎖である請求項 1 に記載の一組の N 列原子ワイヤ。

【請求項 3】

前記表面が C- 終端した -SiC(100) の表面であり、前記鎖が C-C ダイマーの鎖である請求項 1 に記載の一組の N 列原子ワイヤ。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の一組の N 列原子ワイヤを形成する方法であって、前記元素の層を前記表面上に形成するとともに前記層を備えた表面をアニーリングすることにより前記組を構築し、最後のアニーリングによって徐々にその表面から前記元素のダイマー列を選択的に除去して、前記 N 列原子ワイヤの組を得ることを特徴とする一組の N 列原子ワイヤを形成する方法。

【請求項 5】

前記アニーリングの最終段階の温度とその継続時間が、一定の長さの原子ワイヤがそのワイヤに対して垂直にカウントして所望数N列得られるように決められる請求項4に記載の方法。

【請求項6】

前記組が  $5 \times 10^{-9}$  Pa以下あるいは中性の雰囲気中に維持されたチャンバー内で構築される請求項4または請求項5に記載の方法。

【請求項7】

-SiC(100)立法晶のSiCの単結晶基板が形成され、その表面がSi終端されかつ3×2に再構成されるように前記基板が変換され、この変換された基板が1000 から1150 の範囲の温度でアニーリングされることによって、選択脱離により表面からSi-Siダイマー列が徐々に除去されて一組のN列原子ワイヤが得られる請求項4から請求項6のいずれかに記載の方法。

10

【請求項8】

前記変換された基板が5分間から10分間の範囲の時間でアニーリングされる請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記単結晶基板が、Si(100)面から4°微傾斜した表面上にカーボンを含む第一の化合物気体とシリコンを含む第二の化合物気体とを化学気相蒸着することによって得られたものである請求項7に記載の方法。

【請求項10】

前記第一の化合物気体がC<sub>3</sub>H<sub>6</sub>であり、前記第二の化合物気体がSiH<sub>4</sub>である請求項9に記載の方法。

20

【請求項11】

前記単結晶基板をアニーリングして、その表面をカーボンリッチな1×1構造を有する表面にし、この表面に室温でシリコン層を堆積し、このシリコン層を備えた基板を略1000でアニールしてSi-終端されかつ3×2再構成された-SiC(100)の表面を得る請求項9または請求項10に記載の方法。

【請求項12】

金属材料、磁性材料、高分子材料、有機材料、半導体材料、絶縁体材料あるいは生体材料の一組のワイヤを形成する方法であって、請求項1に記載の一組のN列原子ワイヤを前記材料の堆積物を形成するための母体(マトリックス)として用いる一組のN列原子ワイヤを形成する方法。

30

【請求項13】

0.1nmないし10nm程度のサイズの電子デバイスの並列アドレッシングを行う方法であって、請求項1に記載の一組のN列原子ワイヤが0.1nmないし10nmの厚さを有する原子ワイヤを有する方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、極長高安定性原子ワイヤおよびこれを形成する方法に関するものである。

本発明は特にナノエレクトロニクス、光学、およびマイクロメカニクスへ応用される。

40

先行技術

金属表面あるいは半導体表面上における原子ワイヤの形成に関して様々な研究が行われてきた。

原子ワイヤは、原子スケールでの固体表面の構造的性質、動的性質、および反応性を使用するプロセスにより形成される。

原子ワイヤの形成における問題点は、原子で形成されたワイヤの表示の問題に密接に関連している。

原子ワイヤのサブナノメートルの寸法(1nm以下)のため、このようなナノ構造の表示および検査はトンネル効果顕微鏡によってしか行うことができない。

原子ワイヤの形成の周知の方法の主なものが以下に示される。

50

第1の周知の方法は、吸着物を固体表面上へ制御して蒸着することを含んでいる。  
この第1の周知の方法によれば、固体表面の異方性の性質を利用し吸着物のフローおよび基板温度の制御とにより、原子ワイヤを構築することが可能である。

このワイヤの形成は、表面の結合係数の異方性、準安定構造の異方性、あるいは拡散の異方性に基いている。

この点に関して、後で引用される他の文献とともに、この明細書の終わりに掲載した文献(1)ないし(5)を参照するべきである。

第2の周知の方法は、トンネル効果顕微鏡の探針を使ったナノリソグラフィを含んでいる。

トンネル効果顕微鏡の探針から出射された電子を利用して、ナノメートルスケールで分解あるいは脱離反応を起こさせることが可能である。

トンネル効果顕微鏡の探針を移動することによって、原子ワイヤを形成することが可能である。

この点は、文献(6)を参考にすべきである。

これらの周知の方法のパフォーマンスの比較が以下に示される。

制御された蒸着方法により、表面の広範囲にわたって同じ方向に並んだ原子ワイヤ列を形成することが可能である。

これらのワイヤの組成をはっきり決めることができる。

しかしながら、この方法は欠点を有している。

これは、特に使用される基板あるいは吸着物に起因して、得られるワイヤが熱的に不安定だからである。

さらに、この原子ワイヤは一般的に数オングストロームの長さが限界であるとともに、表面上の分布がランダムであるため制御できない。

表面上のこのワイヤの密度は大きく、ワイヤの合体現象が生じるともはやワイヤではなく原子の2次元の集合体になる。

上述の第2の周知の方法により、原子ワイヤの規則性の高い格子を形成することが可能になる。

この原子ワイヤは長くなりうる可能性を秘めている。

しかしながら、この第2の周知の方法は以下の欠点を有している。

原子ワイヤが原子スケールでは質がよくないことである。

加えて、この方法では、原子数が少ないワイヤしか形成することができない。

さらには、この方法は一般には0以下の低温に保たれた表面を必要とする。

#### 発明の開示

本発明の目的は、上記の欠点を改善することである。

目的は第1には極長で高安定性の原子ワイヤを得ることである。

本発明は、そのような原子ワイヤを形成する方法にも関わる。

この方法は、表面の広範囲にわたって極長の原子ワイヤの規則的な格子を形成することを可能にする唯一の方法である。

加えて、この方法によって形成された原子ワイヤは全て、1000近傍の温度まで非常に高い熱安定性を有している；これは、他の周知の方法で得られる熱的に安定な原子ワイヤが最高でも200近傍であるので比較にならないほどである。

つまり本発明は、このタイプのサブナノ構造としては現時点での周知の安定性の限界をかなり越えるものである。

さらには、上記の周知の方法とは異なり、本発明の目的である方法では、表面上においては原子ワイヤの超格子から単一の原子ワイヤだけの集まりまでの集合体を形成することを可能にすることによって、原子列あるいは原子ワイヤの数を制御することが可能である。

正確には、本発明の目的は一組のN列原子ワイヤである。ここで、Nは1以上の整数である。その一組のN列原子ワイヤは、ワイヤがSiCの表面上で形成されるとともに、SiかCのいずれかの元素のダイマーの直線状の鎖であり、また、それらの鎖が互いに平行でかつ実質的に互いに等距離であるとともに、基板の一端から他端まで延びており、また、ダイマ

10

20

30

40

50

ーの方向に対して垂直の方向に延びていることを特徴している。

この集合体の第1の実施形態によれば、前記表面はシリコン終端した  $-SiC(100)$  の表面であり、前記列はSi-Siダイマーの鎖である。

第2の実施形態によれば、前記表面はカーボン終端した  $-SiC(100)$  の表面であり、前記鎖はC-Cダイマーの鎖である。

本発明は、本発明の目的の一つであるN列原子ワイヤの集合体を形成する方法にも関わる。この方法は、前記元素の層を前記表面上に形成するとともに前記集合体は前記層が形成された表面をアニーリングすることにより構築し、また、最後のアニーリングによって徐々にその表面から前記元素のダイマー列を選択的に除去してN列原子ワイヤの集合体を得ることを特徴とする。

10

アニーリングの最終段階の温度と継続時間は、一定の長さの原子ワイヤがワイヤに対して垂直にカウントして所望数N列得られるように決められる。

好ましくは、前記集合体は  $5 \times 10^{-9}$  Pa以下あるいは中性の雰囲気中に維持されたチャンバ内で構築される。

本発明の目的である方法の好適な実施形態によれば、SiCの単結晶基板は  $-SiC$  の立法相(100)に形成され、次いでこの基板は変換されてその表面がSi終端でかつ $3 \times 2$ に再構成され、次にこの変換された基板が1000 から1150 の範囲の温度のアニーリングによる選択脱離によって表面から徐々にSi-Siダイマー列が除去され、そしてN列原子ワイヤの前記集合体を得られる。

変換された基板がアニールされる時間は表面の構造の特徴に依存する。この時間は5分から10分間の範囲で選択することができる。

20

前記単結晶基板は、Si(100)面から4°微傾斜した表面上に、カーボンを含む第一の化合物気体とシリコンを含む第二の化合物気体とを化学気相蒸着することによって得ることができる。

第一の化合物気体はC<sub>3</sub>H<sub>6</sub>でもよいし、第二の化合物気体はSiH<sub>4</sub>でもよい。

好ましくは、前記単結晶基板がアニーリングによってその表面をカーボンリッチの $1 \times 1$ 構造を有する表面にされ、この表面に室温でシリコン層が堆積され、次いでこのシリコン層を備えた基板が略1000 でアニールされて、シリコン終端されかつ $3 \times 2$ 再構成された  $-SiC(100)$  の表面を得る。

本発明は多くの応用が可能である。

30

すなわち、N列原子ワイヤの前記集合体を前記材料が堆積される母体として使用することによって、金属材料、磁性材料、高分子材料、有機材料、半導体材料、絶縁体材料あるいは生体材料のワイヤの集合体を製造するのに応用される。

本発明は、0.1 nmないし10 nmの厚さを有する原子ワイヤを有する、0.1 nmないし10 nm程度のサイズの電子デバイスの並列アドレッシングにも応用される。

本発明の目的である原子ワイヤは、製造方法においても得られた製品の性質においても先行技術で提案されてきたものとは相違するものである。

これは、基板の選択、使用された方法および得られたワイヤの質が、先行技術から知得されたものとは非常に相違しているからである。

基板の選択に関していうと、得られた原子ワイヤは、不活性な半導体材料例えばシリコンカーバイドの表面上好ましくはその  $-SiC(100)$  立法相上に形成される。

40

シリコンカーバイドは非常に優れた特性、すなわち、高熱安定性、高化学安定性および過酷な環境(高温、イオン照射、攻撃的化学環境)に耐える能力を有する材料である。

また、大きな硬度(ダイヤモンドやボロンナイトライドの硬度に近い)を有するセラミックでもある。

さらには、最も生体適合性の高い材料として知られたものの一つである。

特に、 $-SiC(100)$  上に形成されたシリコンワイヤは熱的に非常に安定(1000 程度まで)であり、かつ化学的にも非常に安定であることが確かめられている。

周知の方法では、使用されている基板は、Si(100)あるいは単結晶金属(例えば、Pt(110)あるいはAu(100))の表面である。

50

どの場合にも、原子ワイヤは熱的に不安定である。

制御された蒸着法の場合におけるこの不安定性は、表面拡散の温度依存性に基づくこの方法固有のものである。

トンネル効果顕微鏡を使用するナノリソグラフィ法の場合には、その不安定性は300近傍から400で不安定である材料(例えば、H/Si)を選択することに起因している。

温度の関数としての表面拡散の制御に基づく方法は、ある温度でのみ安定でありかつそれから温度が変わると変化する原子ワイヤを形成することを可能にするものである。

本発明の方法は、好ましくは高温すなわち1000から1150の間の温度での選択脱離に基づいたものである。

10

原子ワイヤの密度は表面温度の制御により制御される。

一旦ワイヤが形成されると、ワイヤは1000以下では非常に安定である。

得られた原子ワイヤ、とりわけ-SiC(100)上に形成されたワイヤの質に関していうと、この原子ワイヤは他の方法では得ることができない独特の特性を有するといえる。

この原子ワイヤの長さは形成される基板のみによって制限を受ける。

この原子ワイヤはすべて平行であり、原子スケールで品質がよく、かつ密度が制御可能な格子を形成する。

このワイヤは、化学的にかつ特に略1000までは熱的に非常に安定である。

#### 【図面の簡単な説明】

20

本発明は、添付図面を参照して、限定されることなく、以下で述べる実施形態の説明によりもっとよく理解されるだろう。

図1は、本発明による高密度(超格子)の原子ワイヤの集合体の概略平面図である。

図2は、本発明によるより低密度の原子ワイヤの集合体の概略平面図である。

図3は、本発明による孤立した原子ワイヤの概略平面図である(N=1)。

図4は、Si終端して3x2に再構成した-SiC(100)表面の概略断面図である。

図5は、図4の概略平面図である。

図6は、c(4x2)終端された-SiC(100)表面の概略断面図である。

図7は、図6の概略平面図である。

図8および図9は、Si終端でn x 2に再構成した-SiC(100)表面の概略断面図である(ただし、nは3より大きな奇数)。

30

図10は、本発明のナノスケール物体の並列アドレッシングへの応用の概略を示した図である。

#### 実施形態の詳細な開示

従って本発明は、シリコンカーバイド基板の表面上に形成された極長の原子ラインあるいは原子ワイヤに関するものである。

制御された状態で原子ワイヤ間の距離を1nmから数mmの間で変えることが可能である。

これは図1ないし図3の平面図において概略的に示される。

図1及び図2において、原子ワイヤ2が示されているが、それは、符号4で示されたシリコンダイマー(Si-Si)の鎖からなり、その鎖は直線状に延びてかつ全てが同じ方向Dを向いている。

40

この長さLは、非常に長く(100nmより長い)そして原子ワイヤが形成された基板6の長さによってのみ制限される。

この原子ワイヤは、互いに規則的に離間している。

原子ワイヤは、ダイマーの方向に対して垂直に延びている。

N列原子ワイヤを温度によって変化させて、数オングストローム程度の距離で互いに離間して配置した原子ワイヤの超格子(図1)から数ナノメートル程度の距離Aで互いに離間して配置した原子ワイヤの集合体(図2)へ変化させること、そしてさらにこの集合体から数10ナノメートルの距離で互いに離間して配置した孤立した原子ワイヤ2(図3)へ変化させることが可能である。

50

図1ないし図3にはダイマー4を示しているが、そこには原子ワイヤの方向Dがダイマー4の方向dに対して垂直であること、そしてその方向dが1つのダイマーを構成する2個のシリコン原子の中心を結ぶ直線の方向であることが明示されている。

上記のように、この原子ワイヤは1000近傍まで安定である。

図1ないし図3に示されたタイプのシリカ原子ワイヤを形成する方法が以下で説明される。

出発点は、Si終端されたかつ $3 \times 2$ に再構成した $-\text{SiC}(100)$ 表面である。

このような表面の準備については、参照すべき文献(7)および(8)に記載されている。

この表面から始めて、シリコンの熱脱離によって他の表面再構成 $c(4 \times 2)$ に達する。

10

この点に関しては、文献(7)を参考にすべきである。

本発明において関心のある状態はこれら2つの表面再構成の間に現れる状態である。

シリコンダイマー列は、1000から1150の間の温度でおよそ5分間から10分間で変更可能な時間アニーリングすることによって、 $3 \times 2$ 再構成表面から徐々に除去される。

本発明の目的である原子ワイヤは、 $3 \times 2$ 再構成から $c(4 \times 2)$ の間の相転移において現れる。

原子ワイヤの数Nとそれらの間隔Aとは、このアニーリングの温度と継続時間とに依存する。

原子ワイヤの形成は、密閉されたチャンバー(図示せず)内で $5 \times 10^{-9}$ Pa以下の圧力下で行われる。

20

使用されるシリコンカーバイド基板は、好ましくは $-\text{SiC}(100)$ 立方相のシリコンカーバイドを厚さ $1 \mu\text{m}$ 程度の非常に薄い単結晶薄膜である。

この薄膜は、 $4^\circ$ 傾斜したSi(100)の微傾斜面上に $\text{C}_3\text{H}_8$ および $\text{SiH}_4$ の化学気相蒸着(あるいはCVD)によって得られる。

基板として、固体SiC単結晶を使用することも可能である。

この点は、文献(9)、(10)および(11)を参照すべきである。

次に、 $-\text{SiC}(100)$ 立方相のシリコンカーバイドの単結晶基板は、一連のアニーリングによって、基板表面からCVD法に起因したシリコンの酸化物および炭素の酸化物とが除去され、カーボンリッチな $1 \times 1$ 表面構造となる。

30

次に、シリコンの層(少なくとも2層)が、この表面上に室温(20近傍)で連続的に蒸着される。

それから、その基板を1000近傍でアニーリングする。

これにより、Si終端された、すなわちシリコンリッチでかつ $3 \times 2$ 表面再構成を有する $-\text{SiC}(100)$ の平坦な表面を得る。

図4は、Si終端されたかつ $3 \times 2$ に再構成した表面を有する $-\text{SiC}(100)$ の概略断面図である。

この図4では、Si(100)のウェーハ上に形成された単結晶シリコンカーバイド8の非常に薄い薄膜が描かれている。

この表面8は、カーボン12の単層で形成されている。

40

カーボン12のこの単層は、シリコン14の単層で被覆されている。

シリコン14のこの単層は、シリコン単層の $1/3$ の数のシリコン原子で構成された疎らな単層で被覆されている。

図5は、単層12および14と疎らな単層16を備えた基板の平面図である。

層12のカーボン原子18の配列とその層上に位置したシリコン単層14のシリコン原子20とが描かれている。

符号22で示された非対称Si-Siダイマーが描かれており、これらのダイマー22が疎らなシリコン単層16を形成する。

基板の最上層を構成するこの層16においては、非対称ダイマー22全てが同じ角度で傾斜しており、ダイマー列がダイマーの方向に対して垂直であることが明瞭にわかる。

50

各ダイマー 2 2 では、上側のシリコン原子が下側のシリコン原子より大きな円で描かれている。

図 5 において、点線で示された長方形 2 4 は  $3 \times 2$  再構成面の基本格子を示している。距離  $a$  は  $a_0 / 2$  に等しい。ここで、 $a_0$  は  $\text{-SiC}$  の格子パラメータを体積で示したものである。

$\text{-SiC}(100)$  の  $[110]$  方向および  $[-110]$  方向も示されている。

図 6 は、表面が  $\underline{c}(4 \times 2)$  再構成された基板の概略断面図である。ここで、その再構成は図 4 の基板をアニールすることによって得られる。

シリコンウェハー 1 0 , シリコンカーバイド膜 8 およびカーボン単層 1 2 も描かれている。

さらに、図 4 の単層が再配列し、疎らな単層 1 6 が消失したシリコン単層 2 6 が描かれている。

図 7 は、この層 1 2 および 2 6 を備えた基板の平面図である。

さらに、図 7 において、カーボン単層 1 2 の原子 1 8 が描かれている。

シリコン単層 2 6 の原子も描かれている。

これらの原子も Si-Si ダイマーを形成する。

符号 2 8 で示された下配置 Si-Si ダイマーと符号 3 0 で示された上配置 Si-Si ダイマーとが描かれ、後者は前者より大きな円で示されている。

図 7 において、点線で示された長方形 3 2 は  $\text{-SiC}(100)$  の  $\underline{c}(4 \times 2)$  再構成面の基本格子を示している。

図 8 は、図 4 と図 6 との層の間の中間層を描いた概略断面図である。

この中間層は、 $n \times 2$  のタイプの再構成に相当するものである。ここで、 $n$  は 3 より大きい奇数であり、例えば 5 である。

図 8 の中間層は図 4 の構造をアニールすることにより得られ、その最上層では本発明による原子ワイヤ 3 2 が形成される。

これは、図 4 の疎らな単層 1 6 が変化して得られたものであり、この変化はアニーリングに起因するものである。

図 8 は、アニーリング効果の下での図 4 に示した層 1 4 の再秩序化に起因したシリコン単層 3 4 も示している。

図 8 に示された相はアニーリングに従って形成されるものであり、他の中間層 (これも  $n \times 2$  のタイプの再構成に相当するものであり、ここで、 $n$  は例えば 7 である。 ) は図 9 に示されたように原子ワイヤが互いにもっと離間したものである。

図 9 は、アニーリング効果の下での図 8 示した層 3 4 の再秩序化に起因したシリコン単層 3 6 も示している。

さらなるアニーリングにより図 9 で示した構造から図 6 で示した構造へ変化することに注目すべきである。

本発明はシリコン原子ワイヤに限定されない。

C-C ダイマーの配列により形成されるカーボン原子ワイヤにも関わるものである。

このようなカーボン原子ワイヤはシリコンワイヤに用いた方法と同等な方法を用いて得ることが可能である。

本発明の目的である原子ワイヤは多くの応用が考えられる。

まず第一に、シリコンカーバイドが非常に興味深い IV-IV 半導体化合物であることを述べておきたい。

これは、この材料がマイクロエレクトロニクス (高周波数用、高温用、高圧用、高電力用) および光エレクトロニクスへの多くの応用が考えられるからである。

加えてシリコンカーバイドは、熱的および化学的安定性の高さのため、航空学、宇宙産業、自動車産業、石油産業、地球物理学及び原子炉において遭遇するタイプの過酷な環境での使用するための非常に魅力的な材料である。

さらには、シリコンカーバイドは、例えば極大硬さ等の非常に興味深い機械的な特性を有しているセラミックスであるとともに、生体とりわけ血液細胞に最も適合した材料の一つ

10

20

30

40

50

である。

まず第一に、本発明の目的である原子ワイヤの最初の応用が示される。

本発明による原子ワイヤの格子は、金属、磁性あるいは高分子のワイヤの類似した格子を形成するための母体として使用することができる。

このためには、金属、磁性、高分子、有機、半導体、絶縁体、あるいは生体材料を本発明による原子ワイヤの格子を有する基板上に蒸着する。それによって、金属、磁性、高分子、有機、半導体、絶縁体、あるいは生体物質のワイヤの類似したネットワークを得ることができる。

本発明はエレクトロニクスにも応用できる。

エレクトロニクスにおける小型化の研究により、益々小型な基本デバイスが製造されるようになり、その大きさは $0.2\mu\text{m}$ あるいは $0.3\mu\text{m}$ になりうる。

しかしながら、原子及び分子を個々に操作する新しい方法によって、もっと小さい、 $0.1\text{nm}$ から $10\text{nm}$ の範囲の大きさのデバイスを構築することさえ構想することが可能である。

この分野では、このサイズのナノ物体を伴うエレクトロニクス用の基礎的な機能を生み出す試みがなされている。

解決する事が困難な問題の一つがこれらのナノ物体のアドレッシングに関するものである。

このアドレッシングには、非常に小さな $0.1\text{nm}$ から $10\text{nm}$ 程度の厚みのワイヤが要求され、かつ、ナノ物体を非常に多数（数 $100$ 万個までの範囲になりうる）にわたって並列にエフェクトされることが可能でなければならない。

本発明は例えば  $-\text{SiC}(100)$  上に得られる原子ワイヤの格子によってこの問題を解決することを可能にしたのである。この原子ワイヤの格子は、ある点ではナノメートルスケールでのプリント基板を構成するものである。

原子ワイヤ間の距離は、ほぼ $1\text{nm}$ から調整可能である。

図10は、上記の並列アドレッシングを図解したものである。

この図10において、基板38の上に本発明による平行な原子ワイヤ40が形成されているのが示されている。

このワイヤ40は、基板38上に形成されたナノエレクトロニクスデバイス42の並列アドレッシングが可能である。

この基板38上に形成されたマイクロエレクトロニクスデバイス44は、ワイヤ40によって制御信号をデバイス42に送る。

本発明によって  $-\text{SiC}(100)$  の表面上形成されたシリコン原子ワイヤは、電子ロックの形成においても興味深いことも述べておいてもよいだろう。

本発明による原子ワイヤ上あるいは原子ワイヤ間に、金属原子または不活性化用の酸素原子または有機あるいは無機分子で接続することを構想することも可能である。

異なるナノ物体間の接続を柔軟に提供するために、トンネル効果顕微鏡の探針を使用して制御された状態で本発明による原子ワイヤをバラバラにカットすることを構想することも可能である。

本発明は光学にも応用が可能である。

本発明により、本発明による原子ワイヤの格子と同じ幾何学特性（長さおよび線間距離）を有するナノメートルの電磁場格子を形成することが可能である。

これは、適当な光ビームを備えたこの格子が該格子が位置する表面を局所的に接近して照明することが、完全に源となる近接電磁場分布を形成すること、あるいは原子ワイヤと同じ空間分布を利用することを可能にするからである。

このナノメートル電磁場格子は、表面上の原子ナノ構造のレーザー誘導脱離において応用が可能である。

本発明はマイクロメカニクスにおいても応用が可能である。

本発明による原子ワイヤを有する表面の摩擦特性は非常に異方的であり、そのため、移動を必要とするマイクロメカニクスデバイスにおいて役に立つ。

この明細書において引用された文献を以下に示す。

10

20

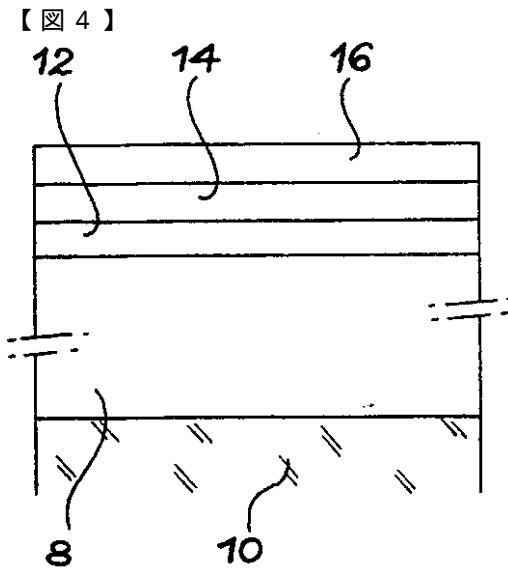
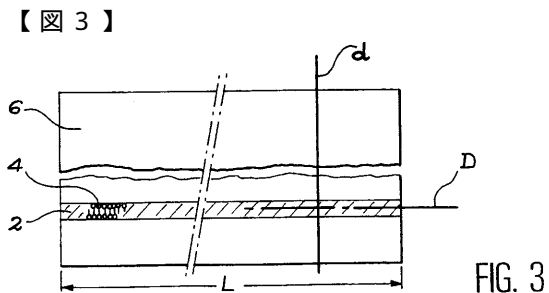
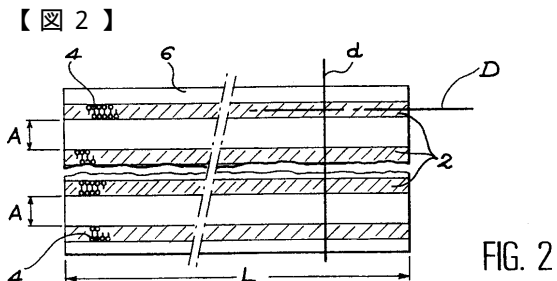
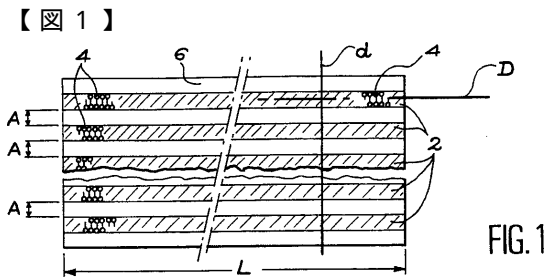
30

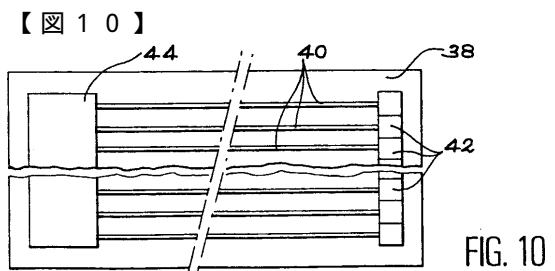
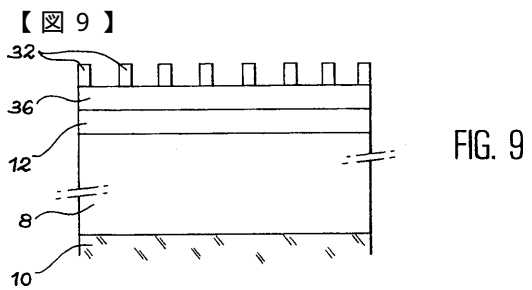
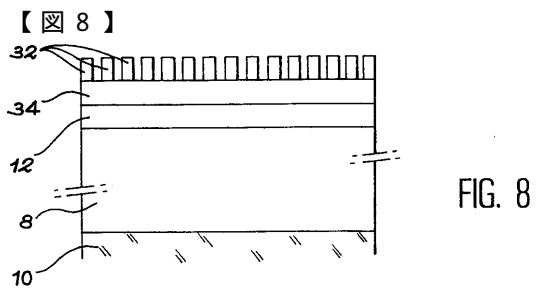
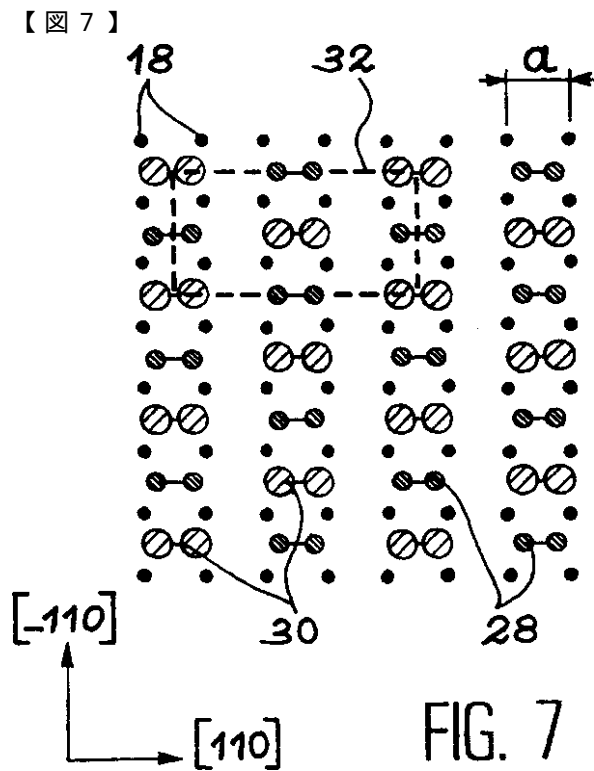
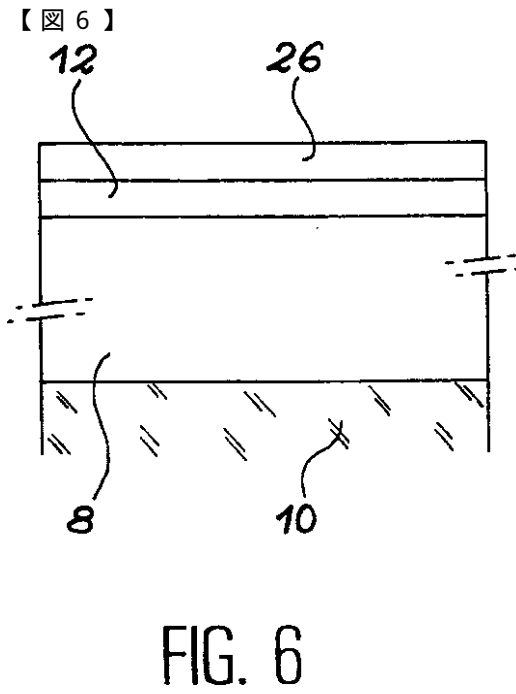
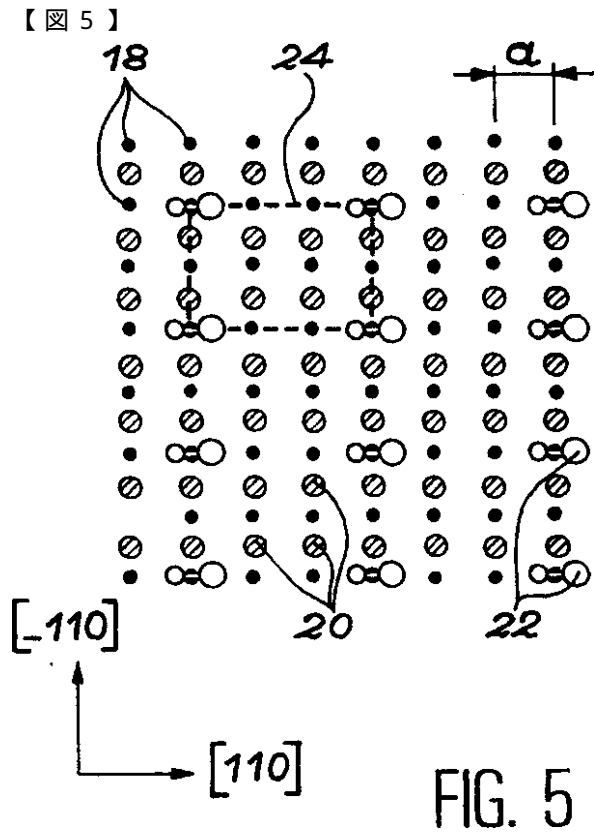
40

50

- ( 1 ) H Roder, R Hahn, H Brune, J P Bucker et K Kern, Nature 366, 141(1993).
- ( 2 ) S Gunther et al, Phys.Rev.Lett. 73, 553 (1994).
- ( 3 ) H Itoh, J Itoh, A Schmid et T Ichinokawa, Phys.Rev.B 48, 14663 (1993).
- ( 4 ) J A Yoshikawa, J Nogami, C F Quate et P Piaetta, Surf.Sci, 321, 2183 (1994).
- ( 5 ) Y W Mo, J Klein, M B Webb et M G Lagally, Surf.Sci, 268, 275 (1992).
- ( 6 ) T C Shen, C Wang, G L Abeln, J R Tucker, J W Lyding, Ph. Avouriset R E Wal kup, Science 268, 1590 (1995).
- ( 7 ) R Kaplan et V M Bermudez, in Properties of Silicon Carbide, G Harris Editor, EMIS Datareview Series, INSPEC (London), Vol. 13, 101 (1995).
- ( 8 ) F Semond, P Soukiassian, A Mayne, G Dujardin, L Douillard et C Jaussaud, P hys. Rev.Lett. 77, 2013 (1996).
- ( 9 ) M Riehl-Chudoba, P Soukiassian et C Jaussaud, J. Appl. Phys. 76, 1332 (1994).
- ( 1 0 ) M Riehl-Chudoba, S Dupont et P Soukiassian, Surf.Sci, 331-333, 625 (1995).
- ( 1 1 ) M Riehl-Chudoba, P Soukiassian, C Jaussaud et S Dupont, Phys.Rev.B 51, 14300 (1995).

10





## フロントページの続き

- (72)発明者 デュジャルダン, ジェラル  
フランス国 9 2 2 9 0 シャトゥネ マラブリ アレ ポール エリュアール 1 5
- (72)発明者 メーヌ, アンドリュ  
フランス国 9 1 1 4 0 ヴィルボン シュル イヴェット リュ デュ ラック レマン 1
- (72)発明者 スモン, ファブリース  
フランス国 9 1 4 0 0 オルセー パッサージュ デュ シュマン ドゥ フェール 6 レジ  
ダンス レスプラナード
- (72)発明者 スキアシアン, パトリック  
フランス国 7 8 4 7 0 サン レミ レ シュヴルーズ リュ アレクサンドル デュマ 1 8

審査官 萩原 周治

- (56)参考文献 米国特許第 0 5 3 6 3 8 0 0 ( U S , A )  
F. Semond, et al., "Atomic structure of the beta-SiC(100)-(3x2) surface", PHYSICAL R  
EVIEW LETTERS, 1 9 9 6 年 9 月 2 日, Vol. 77, No. 10, pp. 2013-2016

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H01L 21/20  
H01L 29/00 - 29/267  
H01L 29/30 - 29/38