

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5123463号

(P5123463)

(45) 発行日 平成25年1月23日 (2013. 1. 23)

(24) 登録日 平成24年11月2日 (2012. 11. 2)

(51) Int. Cl.	F 1
B 2 3 K 15/00 (2006. 01)	B 2 3 K 15/00 5 0 8
B 8 2 B 3/00 (2006. 01)	B 8 2 B 3/00
H 0 1 L 21/302 (2006. 01)	H 0 1 L 21/302 2 0 1 B

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-11391 (P2005-11391)	(73) 特許権者	000173809
(22) 出願日	平成17年1月19日 (2005. 1. 19)		一般財団法人電力中央研究所
(65) 公開番号	特開2006-198641 (P2006-198641A)		東京都千代田区大手町 1 丁目 6 番 1 号
(43) 公開日	平成18年8月3日 (2006. 8. 3)	(74) 代理人	100087468
審査請求日	平成19年12月7日 (2007. 12. 7)		弁理士 村瀬 一美
審判番号	不服2011-24745 (P2011-24745/J1)	(72) 発明者	山田 進
審判請求日	平成23年11月16日 (2011. 11. 16)		東京都柏江市岩戸北 2 - 1 1 - 1 財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内
		(72) 発明者	長野 正裕
			東京都柏江市岩戸北 2 - 1 1 - 1 財団法人電力中央研究所 材料科学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオンビーム加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスクとなるナノ粒子を混入し分散させた接着剤を加工面に塗布することにより前記ナノ粒子を混入し分散させた前記接着剤で前記加工面を覆い、前記接着剤を固めて前記ナノ粒子を前記接着剤中に分散させた状態で前記加工面に固定し、前記加工面に向けてガスクラスターイオンビームを照射して前記ナノ粒子によるマスク部分を除く前記加工面を加工し、

前記接着剤として、エポキシ系接着剤、レジスト液又はワックスを使用し、

前記接着剤の濃度を、前記接着剤の塗布後において前記ナノ粒子が前記加工面上で凝集する前に前記接着剤が固まるように調整することを特徴とするイオンビーム加工方法。

【請求項 2】

前記加工面に多数形成する凸部の要求密度を満足するように前記接着剤への前記ナノ粒子の混入量を調整することを特徴とする請求項 1 記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 3】

前記加工面に多数形成する凸部の要求均一度を満足するように前記接着剤中の前記ナノ粒子の分散度を調整することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 4】

前記ナノ粒子の材質が、Cu、SiO₂又はAl₂O₃であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のイオンビーム加工方法。

【請求項 5】

前記ガスクラスターイオンビームを加速する加速電圧の値を段階的に又は連続的に減少させながら加工を行うことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載のイオンビーム加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスクラスターイオンビーム（G C I B）をワーク加工面に照射して加工を行うイオンビーム加工方法に関する。さらに詳しくは、本発明は、例えば量子ドット等のナノオーダーの凸部を多数形成するのに適したイオンビーム加工方法に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

量子ドットの製造には、これまで半導体産業で用いられてきた技術を利用することで、バルク材料を切ったり削ったりするトップダウン（top down）的アプローチがある。トップダウン的アプローチは、二次元的な量子井戸を縦横に切り分けることで、もしくは一次元の量子細線を切り分けることで、零次元の量子ドットを製造するものである。

【0003】

まずは C V D（Chemical Vapor Deposition）などによって、10 nm 程度の量子井戸層をもつ S O I（Silicon On Insulator、絶縁膜上にシリコン層）膜をつくる。この面と平行にレジストポリマーを付着させ、電子線リソグラフィー（電子ビームリソグラフィー、E B L : Electron Beam Lithography）で取り除く。

20

【0004】

こうして一部レジストを取り除いた後で、金属を薄膜蒸着させる。この後、レジストを除去すると、先にレジストが取り除かれた部分の金属片だけが取り残される。そして、イオンエッチングによって金属で保護された以外の量子井戸層を取り除くと、量子ドットができあがる。

【0005】

また、微粒子でマスクした加工面にエネルギービームを照射する加工を行うエネルギービーム加工法として、例えば特開平 8 - 2 3 8 4 2 6 号公報に開示されたものがある。この加工法は、加工面に微粒子を分散配置し、高速原子線やイオンビーム等のエネルギービームを照射し、微粒子のマスク部分を残して加工面を削るものである。

30

【0006】

【特許文献 1】特開平 8 - 2 3 8 4 2 6 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述のトップダウン的アプローチでは、製造工程が多く、また電子線リソグラフィーによる加工であるので、量子ドットの製造に長時間を要し、また、高価な製造設備が必要であり、製造コストが高かった。

40

【0008】

また、上述のエネルギービーム加工法では、微粒子は加工面に対して静電気力やファンデルワールス力といった弱い力で付着しており、照射したエネルギービームによって加工面上の微粒子が弾かれる虞があり、微粒子が弾かれた場合にはマスクが無くなるので凸部を正確に形成することができなかった。また、エネルギービームの照射によって加工面の比較的深い位置まで格子欠陥が生じてしまう。これらのため、量子ドット等の製造には適していなかった。

【0009】

本発明は、ナノサイズの凸部を短時間に低コストで製造可能なイオンビーム加工方法を提供することを目的とする。また、量子ドット等の製造に適したイオンビーム加工方法を

50

提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

かかる目的を達成するために、請求項1記載のイオンビーム加工方法は、マスクとなるナノ粒子を混入し分散させた接着剤を加工面に塗布することによりナノ粒子を混入し分散させた接着剤で加工面を覆い、接着剤を固めてナノ粒子を接着剤中に分散させた状態で加工面に固定し、加工面に向けてガスクラスターイオンビームを照射してナノ粒子によるマスク部分を除く加工面を加工し、接着剤として、エポキシ系接着剤、レジスト液又はワックスを使用し、接着剤の濃度を、接着剤の塗布後においてナノ粒子が加工面上で凝集する前に接着剤が固まるように調整するものである。

10

【0011】

したがって、加工面に固定されたナノ粒子がマスクとなり、マスク部分を除く部分がガスクラスターイオンによって除去される。このため、マスク箇所が柱状に残り、加工面に凹凸が形成される。マスクとなるナノ粒子は接着剤によって加工面に固定されているので、ガスクラスターイオンビームによって弾き飛ばされることはない。また、照射するイオンビームとしてクラスターイオンビームを使用しているため、ワークに与える損傷を抑えながら加工速度を向上させることができる。また、一般的にナノ粒子くらいに小さい物質になると、分子間力や静電気力の影響が大きくなり、粒子が凝集するようになる。このため、加工面に付着したナノ粒子も凝集する虞がある。本発明では、加工面に付着したナノ粒子が凝集する前に接着剤が固まり、ナノ粒子を固定する。濃度が高い接着剤は早く固まり、濃度が低い接着剤は遅く固まる。したがって、接着剤の濃度を調整することで、接着剤が固まるまでの時間を制御することができる。接着剤の濃度調整は、接着剤を溶剤等で薄めることで行われる。接着剤の濃度調整は容易である。

20

【0012】

ナノ粒子として粒径の大きなものを使用することで太い凸部を形成することができ、粒径の小さなものを使用することで細い凸部を形成することができる。また、クラスターイオンの照射時間を長くすることで凸部を高くすることができ、照射時間を短くすることで凸部を低くすることができる。

【0013】

また、請求項2記載のイオンビーム加工方法は、加工面に多数形成する凸部の要求密度を満足するように接着剤へのナノ粒子の混入量を調整するものである。

30

【0014】

接着剤に混入するナノ粒子の量を多くすれば、加工面に固定されるナノ粒子の数が多くなり、マスク部分の数が多くなるので形成される凸部の数が増える。逆に、接着剤に混入するナノ粒子の量を少なくすれば、加工面に固定されるナノ粒子の数が少なくなり、マスク部分の数が少なくなるので形成される凸部の数が減る。したがって、接着剤へのナノ粒子の混入量の調整によって加工面に形成する凸部の単位面積当たりの数（密度）を制御することができる。加工面に例えば単位面積当たりN個の凸部を形成する必要がある場合には、単位面積当たりN個のナノ粒子が付着するように接着剤へのナノ粒子の混入量を決定する。ナノ粒子の混入量の調整は簡単である。

40

【0015】

また、請求項3記載のイオンビーム加工方法は、加工面に多数形成する凸部の要求均一度を満足するように接着剤中のナノ粒子の分散度を調整するものである。

【0016】

接着剤に混入するナノ粒子の分散度（分散の度合い）を高くすれば、加工面に多数のナノ粒子が均一に付着するようになり、多数のマスク部分が均一に形成されることになるので多数の凸部が均一に形成される。逆に、接着剤に混入するナノ粒子の分散度を低くすれば、多数のナノ粒子の加工面への付着に部分的な偏りが生じ、多数のマスク部分の形成に部分的な偏りが生じることになるので凸部の形成が不均一になる。したがって、接着剤中のナノ粒子の分散度の調整によって加工面に形成する凸部の均一度（均一の度合い）を制

50

御することができる。例えば、ナノ粒子を混入した接着剤に超音波を当てて振動させることで、ナノ粒子を均等に分散させることができる。例えば、超音波を当てて分散させる時間を調整することでナノ粒子の分散度を制御することができ、その制御は簡単である。

【0017】

また、請求項4記載のイオンビーム加工方法は、ナノ粒子の材質が、Cu、SiO₂又はAl₂O₃であるものである。

【0019】

さらに、請求項5記載のイオンビーム加工方法は、ガスクラスターイオンビームを加速する加速電圧の値を段階的に又は連続的に減少させながら加工を行うものである。

【0020】

したがって、加工の初期段階では大きな値の加速電圧を用いて加工が行われ、加工の最終（仕上げ）段階では小さな値の加速電圧を用いて加工が行われる。ガスクラスターイオンビームの加速電圧の値が大きい場合、加工量は多くなるが、加工面の表面粗さは粗くなる。一方、ガスクラスターイオンビームの加速電圧の値が小さい場合、ワークの加工量は少なくなるが、加工面の表面粗さは微細になる。このため、加工面の仕上がり具合にあまり影響を与えない加工の初期段階では大きな値の加速電圧を用いて加工を行い、単位時間当たりの加工量を増やして加工時間を短縮させる。一方、加工面の仕上がり具合に大きく影響する加工の最終段階では小さな値の加速電圧を用いて加工を行い、加工面の表面粗さを微細にする。加速電圧の値を段階的に減少させても良く、連続的に減少させても良い。

【発明の効果】

【0021】

しかして、請求項1記載のイオンビーム加工方法では、接着剤中にナノ粒子を分散させて加工面に塗布することによりナノ粒子を分散させた接着剤で加工面を覆い、接着剤を固めてナノ粒子を接着剤と共に加工面に固定した状態で加工面に向けてガスクラスターイオンビームを照射し、ナノ粒子によるマスク部分を除く加工面を加工するので、マスク部分が柱状に残り、加工面にナノサイズの凸部を形成することができる。マスクとなるナノ粒子は接着剤によって固定されているので、マスクがずれたり外れたりすることがなく、ナノサイズの凸部の形成が確実なものになる。また、加工面に照射するイオンビームとしてガスクラスターイオンビームを使用するので、ワークに与える損傷を抑えながら加工速度を向上させることができる。これらのため、例えば量子ドット等の製造に適している。また、使用するナノ粒子の粒径を調整することで、形成する凸部の太さを制御することができる。さらに、クラスターイオンビームの照射時間を調節することで、形成する凸部の高さ、換言すると凹部の深さを制御することができる。

【0022】

また、請求項2記載のイオンビーム加工方法では、加工面に多数形成する凸部の要求密度を満足するように接着剤へのナノ粒子の混入量を調整するので、加工面に形成する凸部の要求密度を簡単に満足することができる。

【0023】

また、請求項3記載のイオンビーム加工方法では、加工面に多数形成する凸部の要求均一度を満足するように接着剤中のナノ粒子の分散度を調整するので、加工面に形成する凸部の要求均一度を簡単に満足することができる。

【0024】

また、請求項1記載のイオンビーム加工方法では、接着剤の塗布後において、ナノ粒子が加工面上で凝集する前に接着剤が固まるように接着剤の濃度を調整するので、加工面に付着したナノ粒子の凝集を確実に防止することができる。また、接着剤の濃度調整は容易であり、ナノ粒子の凝集を簡単に防止することができる。

【0025】

さらに、請求項5記載のイオンビーム加工方法では、ガスクラスターイオンビームを加速する加速電圧の値を段階的に又は連続的に減少させながら加工を行うので、全体として加工速度を上げながら仕上げ段階では加工面を微細に加工することができる。このため、

10

20

30

40

50

加工面の表面粗さを悪化させずに加工時間を短縮することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の構成を図面に示す最良の形態に基づいて詳細に説明する。

【0027】

図1及び図2に、本発明のイオンビーム加工方法の実施形態の一例を示す。このイオンビーム加工方法は、接着剤1中にナノ粒子2を分散させて加工面3に塗布することによりナノ粒子2を分散させた接着剤1で加工面3を覆い、接着剤1を固めてナノ粒子2を接着剤1と共に加工面3に固定した状態で加工面3に向けてガスクラスターイオンビーム4を照射し、ナノ粒子2によるマスク部分を除く加工面3を加工するものである。加工面3に多数形成する凸部5の要求密度を満足するように接着剤1へのナノ粒子2の混入量を調整しておく。また、加工面3に多数形成する凸部5の要求均一度を満足するように接着剤1中のナノ粒子2の分散度を調整しておく。さらに、接着剤1の塗布後において、ナノ粒子2が加工面3上で凝集する前に接着剤1が固まるように接着剤1の濃度を調整しておく。

【0028】

つまり、塗布前に接着剤1にナノ粒子2を混入させ、均一に分散させておく。ナノ粒子2の分散には、例えば超音波の振動エネルギーによりナノ粒子2を攪拌させる超音波攪拌装置の使用が可能である。超音波振動をかける時間等を調整することで、ナノ粒子2の分散度（分散の度合い）を制御することができる。ただし、超音波による攪拌に限るものではなく、例えば機械的攪拌、電磁攪拌等でも良い。

【0029】

次に、ナノ粒子2を均一に分散させた接着剤1をワーク6の加工面3に塗布する（図1（a））。ワーク6は、例えばGaAs基板である。塗布には、例えばスピンの使用が可能である。ただし、スピン以外の手段で接着剤1を塗布しても良い。接着剤1の塗布によってナノ粒子2が加工面3に分散して付着し、接着剤1が固まるとナノ粒子2は加工面3に固定される。ナノ粒子2は接着剤1中に均一に分散されていたので、加工面3に対しても均一に分散された状態で固定される。

【0030】

ここで、使用する接着剤1の粘性度等にもよるが、接着剤1塗布後において、ナノ粒子2はその性質上凝集することがある。また、ナノ粒子2が凝集する虞がない場合であっても、外力等の作用によってナノ粒子2が動かされることも考えられる。したがって、これらが予想される場合等には、ナノ粒子2が凝集したり動かされる前に接着剤1を固めて加工面3に固定する必要がある。例えば接着剤1の濃度を調整することで、接着剤1が固まるまでの時間を制御することができるので、塗布後すぐに接着剤1が固まるようにする。接着剤1の濃度調整は、接着剤1を希釈液等で薄めることで行われる。接着剤1の濃度調整は容易であり、接着剤1が固まるまでの時間を制御して塗布後のナノ粒子2の凝集等を確実に防止することは容易である。なお、接着剤1を希釈せずにナノ粒子2の分散と加工面3への塗布を行うことができる場合には、接着剤1を希釈せずに使用しても良い。

【0031】

次に、加工面3にに向けてガスクラスターイオンビーム4を照射する。本実施形態では、ガスクラスターイオンビーム4を加速する加速電圧を一定に維持して照射を行う。加工面3に固定されたナノ粒子2はマスクとなり、マスク部分を除く部分がガスクラスターイオンによって加工される。このとき、ナノ粒子2にもガスクラスターイオンは衝突するが、ナノ粒子2は接着剤1によって固定されているため、ナノ粒子2が弾き飛ばされることはなく、加工面3をしっかりとマスクする。

【0032】

加工面3にに向けて照射されたガスクラスターイオンは加工面3との衝突で壊れながらスパッタリング現象により加工面3の加工を行う（図1（b））。1個のクラスターは例えば数千個の原子または分子で構成されており、1原子または分子当たりのエネルギーは極めて小さくなる。このため、ガスクラスターイオンビーム4によるイオンビーム加工は、

加工面 3 から浅い部分の加工に適していると共に、加工面 3 に与える損傷を抑えた加工を行うことができる。このため、例えば半導体基板のように加工面 3 の浅い部分に格子欠陥が生じることが問題になる場合等の加工に適している。また、1 度に多数の原子または分子を加工面 3 に衝突させるので、1 回の衝突で加工できる量が多くなり、加工速度を上げることができる。加工の深さはガスクラスターイオンの照射時間で調整する。ガスクラスターイオンの照射時間を長くすることで、加工面 3 を深く加工して高い凸部 5 を形成することができ、照射時間を短くすることで加工面 3 を浅く加工して低い凸部 5 を形成することができる。

【0033】

ワーク 6 を所定の深さまで加工した後、加工面 3 からナノ粒子 2 と残った接着剤 1 を除去する（図 1（c））。例えばアセトン、トリクロロエチレン等の溶剤等を使用して加工面 3 を洗浄することで、ナノ粒子 2 や残りの接着剤 1 を除去することができる。ナノ粒子 2 によってマスクされていた部分は柱状の凸部 5 となり、加工面 3 に多数の凸部 5 を形成することができる。ナノ粒子 2 はほぼ均一に分散された状態で固定されていたので、加工面 3 にほぼ均一に分散した凸部 5 を多数形成することができる。

10

【0034】

ナノ粒子 2 の粒径は、凸部 5 の太さに応じて決定する。即ち、粒径の大きなナノ粒子 2 を使用することで太い凸部 5 を形成することができ、粒径の小さなナノ粒子 2 を使用することで細い凸部 5 を形成することができる。

【0035】

20

凸部 5 の要求密度、即ち必要とされる凸部 5 の密度は、接着剤 1 へのナノ粒子 2 の混入量によって制御することができる。接着剤 1 へのナノ粒子 2 の混入量を多くすれば加工面 3 により多くのナノ粒子 2 が固定されることになり、形成される凸部 5 の密度を高くすることができる。逆に、ナノ粒子 2 の混入量を減らせば加工面 3 に固定されるナノ粒子 2 の数も減るので、形成される凸部 5 の密度を低くすることができる。したがって、ナノ粒子 2 の混入量を調整することで、凸部 5 の密度を制御することができる。ナノ粒子 2 の混入量の調整は簡単であり、凸部 5 の要求密度の満足は容易である。

【0036】

凸部 5 の要求均一度、即ち必要とされる凸部 5 の均一の度合いは、接着剤 1 に混入するナノ粒子 2 の分散の度合いによって制御することができる。接着剤 1 中のナノ粒子 2 の分散の度合いを高くし均一に分散させると、加工面 3 にナノ粒子 2 を均一に分散させた状態で固定することかでき、凸部 5 を均一に分散させて形成することができる。逆に、接着剤 1 中のナノ粒子 2 の分散の度合いを低くすると、加工面 3 に付着するナノ粒子 2 の配置に部分的な偏りが生じ、凸部 5 が不均一になる。したがって、接着剤 1 中のナノ粒子 2 の分散度を調整することで、凸部 5 の均一度を制御することができる。例えば超音波振動による分散では超音波振動をかける時間を調整することでナノ粒子 2 の分散度を調整することができる。このような分散度の調整は簡単であり、凸部 5 の要求均一度の満足は容易である。

30

【0037】

本発明では、加工面 3 の任意の位置を指定してナノサイズの凸部 5 を形成することはできないが、ナノサイズの凸部 5 の密度の制御は可能である。このため、凸部 5 の位置よりも単位面積当たりの凸部 5 の個数（密度）を重要視する加工に特に適している。ただし、凸部 5 の密度を重要視しない加工にも適していることは勿論である。

40

【0038】

本発明の適用が可能な加工としては、例えば量子ドットの製造、フォトニック結晶のピラー構造の製造、太陽電池パネルの光入射面にナノサイズの凹凸を多数形成して光の反射を抑え光の吸収量の増加を図る加工、窓ガラスにナノサイズの凹凸を多数形成して光の入射を抑え光の反射量の増加を図る加工、コーティング面にナノサイズの凹凸を多数形成してコーティング材料の接着性を増加させる加工、摩擦面の摩擦係数制御のための表面加工等がある。ただし、これらの加工に限るものではなく、加工面 3 のある範囲にナノサイズ

50

の凸部 5 を多数形成する加工であれば適用することができる。

【0039】

本発明では、多数のナノ粒子 2 を固定した加工面 3 にガスクラスターイオンビーム 4 を照射して微小な凸部 5 を形成するので、短時間に低コストで多数の凸部 5 を形成することができる。即ち、従来の量子ドットの製造方法のように、量子井戸にレジストポリマーを付着させてその一部を電子線リソグラフィーで取り除き、金属を薄膜蒸着させた後、残りのレジストを除去しイオンエッチングを行う方法では、多数の製造プロセスを経る必要があり、製造に長時間と大きなコストが必要となるが、本発明では、製造プロセスが簡単になり、短時間で安いコストで量子ドット等の微小凸部 5 を形成することができる。また、必要な製造設備も簡単なもので足り、大掛かりで高価な製造設備を必要としないので、この点からも製造コストを安くすることができる。

10

【0040】

使用可能な接着剤 1 としては、ナノ粒子 2 を加工面 3 に固定できることができるものであれば、特に限定されない。例えば、エポキシ系接着剤、アロンアルファ（東亜合成株式会社、登録商標）、セメダイン（セメダイン株式会社、登録商標）等の使用が可能である他、レジスト液、ワックス等も接着剤 1 として使用できる。また、接着剤 1 としては、上述のように粘性度調整可能であるものが好ましい。さらに、加工面 3 に塗布後、速やかに固まってナノ粒子 2 を固定できることが好ましい。なお、凸部 5 の加工後、加工面 3に残ったナノ粒子 2 や接着剤 1 を落とす手段としては溶剤等による洗浄の他、例えば研磨等によってナノ粒子 2 や残留接着剤 1 を落とすことができ、その他の手段によって落としても良い。

20

【0041】

ナノ粒子 2 とは、ナノメータ (nm) スケールの超微粒子である。ナノ粒子という一般的なには粒子状物質のうち粒径 50 ~ 100 nm 程度以下の超微粒子を意味することがあるが、本発明では粒径 50 ~ 100 nm のナノ粒子 2 や粒径 50 nm 以下のナノ粒子 2 は勿論のこと、粒径 100 nm 以上のナノ粒子 2 も含まれる。加工面 3 に形成する凸部 5 の太さ等に応じて、適切な粒径のナノ粒子 2 を使用すれば良い。また、使用するナノ粒子 2 としては、例えば Cu、Al₂O₃、SiO₂ 等のナノ粒子が例示できるが、これらに限るものではない。

【0042】

なお、上述の形態は本発明の好適な形態の一例ではあるがこれに限定されるものではなく本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば、上述の説明では、ガスクラスターイオンビーム 4 の加速電圧を一定に維持した状態で照射を行っていたが、これに限るものではなく、例えばガスクラスターイオンビーム 4 を加速する加速電圧の値を段階的に又は連続的に減少させながら加工を行うようにしても良い。

30

【0043】

つまり、加工の初期段階では加速電圧値を大きくしておき、加工が進むにつれて加速電圧値を減少させる。加工面 3 の仕上がり具合にあまり影響を与えない加工の初期段階で大きな値の加速電圧を用いて加工を行うことで、単位時間当たりの加工量を増やして、即ち加工速度を上げて加工時間を短縮させることができる。そして、加工面 3 の仕上がり具合に大きく影響する加工の最終段階（仕上げ段階）で小さな値の加速電圧を用いて加工を行うことで、加工面 3 の表面粗さを微細にして高精度で良好な仕上げ面を得ることができる。即ち、加熱電圧の値を減少させる多段階加工を行うことで、加工時間の短縮と加工精度の確保を高レベルで両立することができる。加速電圧の具体的な値は、ワーク 6 の材質、行う加工の種類、要求される加工精度等を考慮して決定する。

40

【0044】

例えば、加速電圧の値を A → B へと 2 段階に減少させたり、A → C → B へと 3 段階に減少させることが考えられる。また、4 段階以上に減少させても良い。さらに、加速電圧を A → B へと連続的に減少させても良い。ここで、A > C > B であり、B はワーク 6 の加工面 3 の表面粗さが仕上げ面として要求される精度を満たすことができ且つ加工を進行させ

50

ることができる値である。

【実施例 1】

【0045】

本発明の方法によりナノサイズの凸部 5 を形成できることを確認するための実験を行った。照射用試料には n 型 GaAs を用いた。また、マスク用のナノ粒子 2 には Cu、 Al_2O_3 および SiO_2 を用いた。ナノ粒子 2 の平均粒径は Cu が約 300 nm、 Al_2O_3 および SiO_2 は約 30 nm であった。トリクロロエチレンで希釈したエポキシ系接着剤 1 中に約 0.1 mg のナノ粒子 2 を超音波装置で分散させ、GaAs (001) 上にスピコート (2000 rpm) して均一に分散させた。クラスターイオンビーム 4 用のイオン種には Ar を用いた。

10

【0046】

照射条件は、次の通りである。クラスターサイズはクラスター 1 個当たり Ar 原子約 2000 個 (クラスター直径は約 2 nm)、加速電圧は 20 keV、照射量は 1×10^{17} ions/cm²、入射方向は (001) 面に垂直とした。モノマーイオンは磁気分光器で取り除いた。照射後、試料表面の残留接着剤 1 とナノ粒子 2 をトリクロロエチレンで取り除き、段差測定と AFM 測定を行った。

【0047】

図 3 に Cu ナノ粒子 2 を使って作製した構造物を示す。複数のテーブル状構造物が形成されているのが分かる。テーブルの直径はいずれも約 500 nm、高さは 15 nm であった。テーブルのふちに見られる突起物はナノ粒子 2 の影になったため形成されたと考えられる。図 4 には単離したテーブル状構造物を示す。

20

【0048】

図 5 (a) に SiO_2 ナノ粒子 2 を使って作製した構造物を示す。図 5 (b) は (a) の一部を拡大した図である。複数の突起状構造物が形成されている。突起状構造物の直径は約 100 nm、高さは約 16 nm、面密度は約 20 個/ μm^2 であった。

【0049】

図 6 (a) に Al_2O_3 ナノ粒子 2 を使って作製した構造物を示す。図 6 (b) は (a) の一部を拡大した図である。 SiO_2 ナノ粒子 2 の場合と同様に、複数の突起状構造物が形成されている。突起状構造物の直径は約 70 nm、高さは 13 nm、面密度は約 30 個/ μm^2 であった。突起状構造物の形態に関して、 SiO_2 と Al_2O_3 では明瞭な違いは認められなかった。計算によると、GaAs について量子サイズ効果が発現する大きさは約 100 nm 以下と算出される。この大きさは今回得られた大きさと近く、量子ドットとしてのその利用が可能である。

30

【0050】

今回約 30 nm の Al_2O_3 および SiO_2 ナノ粒子 2 をマスクとして用い、これにクラスターイオンビーム 4 を照射することで、直径約 100 nm、高さ約 16 nm のナノ構造物を作製することに成功した。また、約 300 nm の Cu ナノ粒子 2 をマスクとして用い、これにクラスターイオンビーム 4 を照射することで、直径約 500 nm、高さ約 15 nm のナノ構造物を作製することに成功した。本発明はマスクとして用いる粒子の直径を選ぶことで、凸部 5 の加工サイズが選択でき、量子ドット等の製作に有効と考えられる。

40

【実施例 2】

【0051】

使用可能な接着剤 1 を調べる実験を行った。以下の接着剤 1 について調べた。実験の結果、以下の (1) ~ (3) の接着剤 1 の使用が可能であることがわかった。なお、使用可能な接着剤 1 としては、(1) ~ (3) の接着剤に限るものではないことは勿論である。また、(1) ~ (3) の接着剤 1 と同等の粘性度を有する接着剤 1 については少なくとも使用可能であると考えられる。

【0052】

(1) レジスト液を希釈液で 10 倍に希釈した接着剤 1

a. レジスト液 (製品名: OFR-5LB)

50

成分：乳酸エチル：80～50%、酢酸ノルマルブチル：10～5%

b. 希釈液（製品名：LBシンナー）

成分：乳酸エチル：90%、酢酸ノルマルブチル：10%

c. 希釈率：10倍

d. 乾燥速度

スピコータ（1000rpm以上）に滴下後、すぐ（数秒）

【0053】

（2）エポキシ系接着剤を希釈液で10倍に希釈した接着剤1

a. エポキシ系接着剤（商品名：アロンアルファ（東亜合成株式会社、登録商標））

b. 希釈液

トリクロロエチレン：99.5%

c. 希釈率：10倍

d. 乾燥速度

スピコータ（1000rpm以上）に滴下後、すぐ（数秒）

【0054】

（3）ワックスを希釈液で10倍以上に希釈した接着剤1

a. ワックス（アピエゾンワックスW）

b. 希釈液

トリクロロエチレン：99.5%

c. 希釈率：10倍以上

d. 乾燥速度

スピコータ（1000rpm以上）に滴下後、すぐ（数秒）

【0055】

（4）なお、上記（1）～（3）の接着剤1において、スピコータの回転速度が500rpm程度の場合には、接着剤1塗布の均一性が良くなかった。このため、500rpm程度では回転速度が足りないことがわかった。また、上記（1）～（3）の接着剤1について、希釈率を5倍とすると、スピコーターにかけ前のナノ粒子2を攪拌させているときに固まった。このため、5倍では希釈率が足りないこともわかった。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明のイオンビーム加工方法の実施形態の一例を示し、（a）はナノ粒子混入接着剤を加工面に塗布し、ガスクラスターイオンビームを照射する様子を示す断面図、（b）はマスキング部分に凸部が形成される様子を示す断面図、（c）は凸部形成後のワークを示す断面図である。

【図2】加工面にナノ粒子が固定されている様子を示す平面図である。

【図3】Cuナノ粒子を使用して作製したテーブル状構造物群を示す図である。

【図4】Cuナノ粒子を使用して作製した単離したテーブル状構造物を示す図である。

【図5】（a）はSiO₂ナノ粒子を使用して作製した突起状構造物群を示す図、（b）は（a）を部分的に拡大した図である。

【図6】（a）はAl₂O₃ナノ粒子を使用して作製した突起状構造物群を示す図、（b）は（a）を部分的に拡大した図である。

【符号の説明】

【0057】

- 1 接着剤
- 2 ナノ粒子
- 3 加工面
- 4 ガスクラスターイオンビーム
- 5 凸部

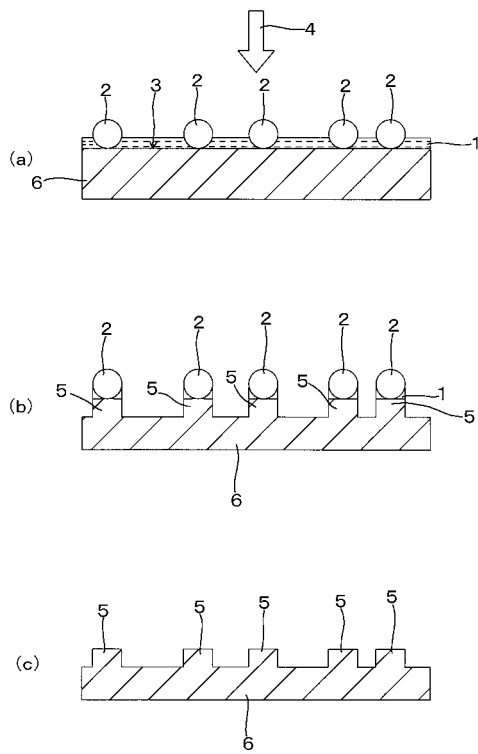
10

20

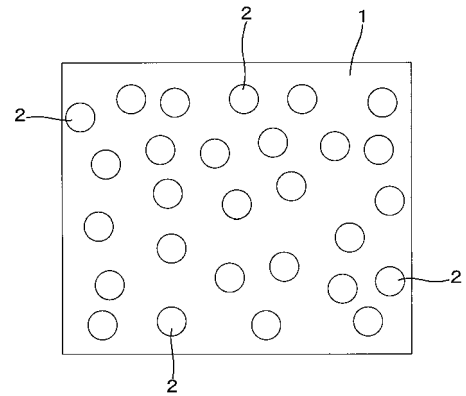
30

40

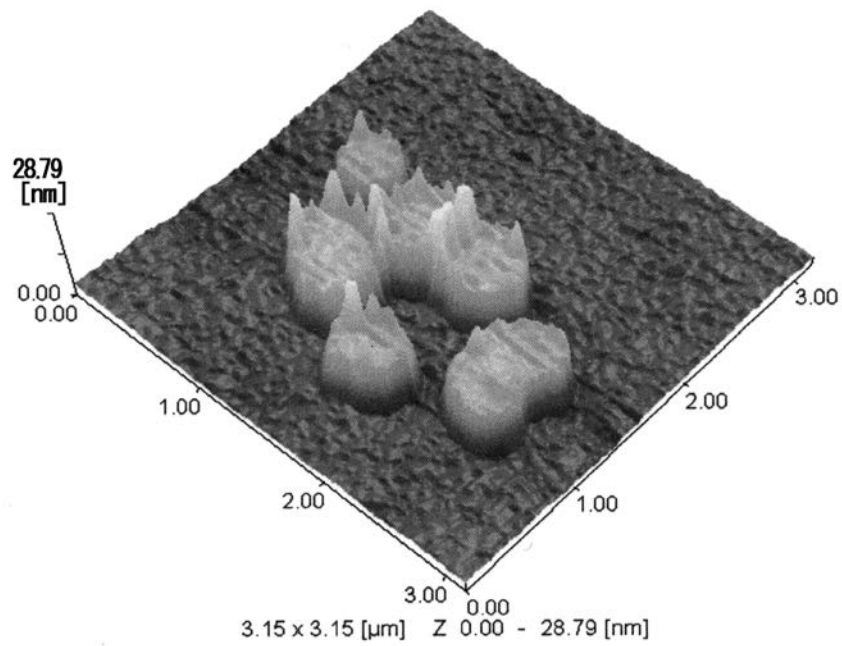
【図 1】



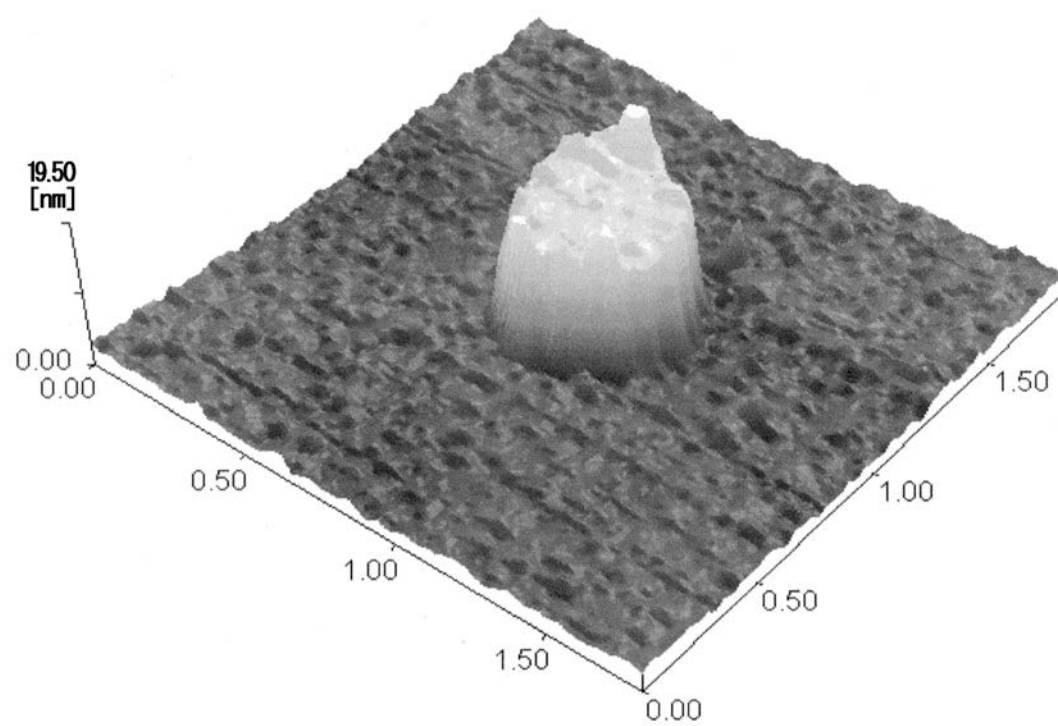
【図 2】



【図 3】

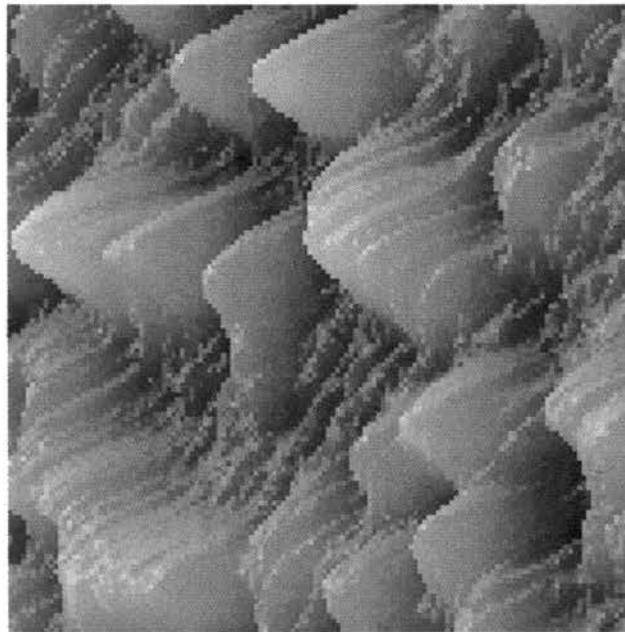


【図 4】

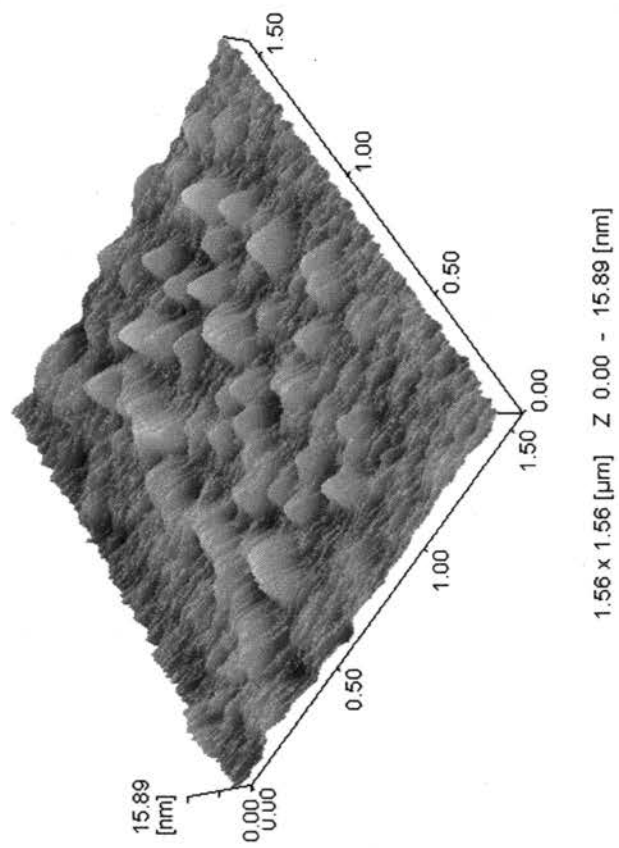


1.81 x 1.81 [μm] Z 0.00 - 19.50 [nm]

【図 5】

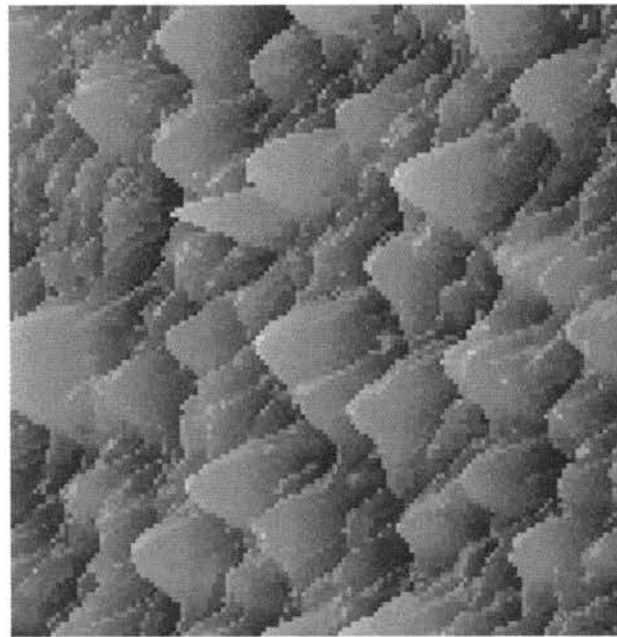


(b)

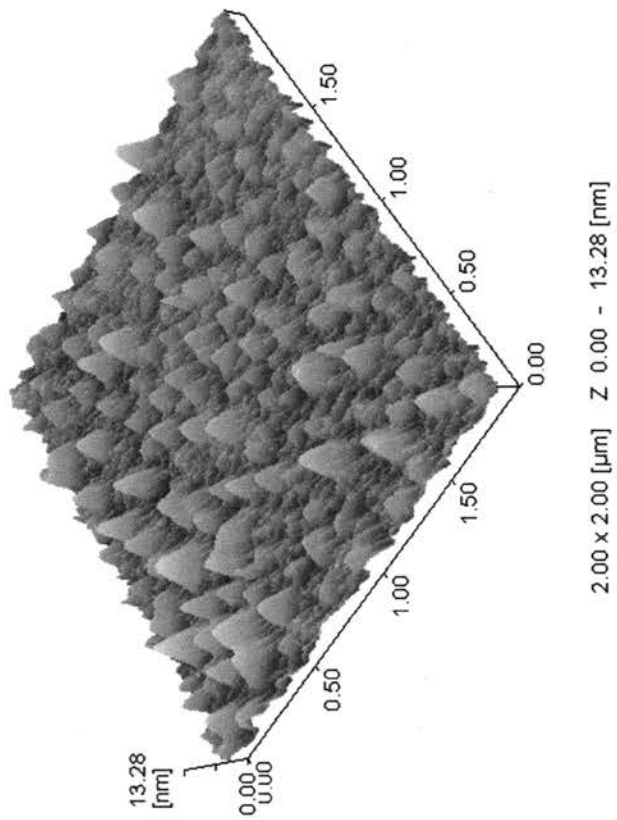


(a)

【図 6】



(b)



(a)

フロントページの続き

合議体

審判長 豊原 邦雄

審判官 野村 亨

審判官 刈間 宏信

- (56)参考文献 特開平－(JP, A) 8－2 3 8 4 2 6
特開平－(JP, A) 1 1－6 6 6 5 4
特公昭－(JP, B 2) 5 6－2 2 3 6 3
特開－(JP, A) 2 0 0 0－1 9 0 0 8 4

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 15/00

B82B 3/00

H01L 21/302