

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-50139

(P2016-50139A)

(43) 公開日 平成28年4月11日(2016.4.11)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
C30B	29/04	(2006.01)	C30B	29/04	Q	4G077		
C23C	16/27	(2006.01)	C23C	16/27		4G146		
C23C	16/50	(2006.01)	C23C	16/50		4K030		
C23C	16/04	(2006.01)	C23C	16/04				
C01B	31/06	(2006.01)	C01B	31/06	A			

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2014-175926 (P2014-175926)
 (22) 出願日 平成26年8月29日 (2014.8.29)

(71) 出願人 504133110
 国立大学法人電気通信大学
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100165951
 弁理士 吉田 憲悟
 (72) 発明者 一色 秀夫
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
 (72) 発明者 相馬 勇治
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

最終頁に続く

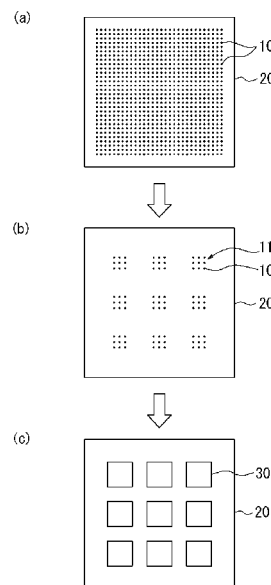
(54) 【発明の名称】 単結晶ダイヤモンドの製造方法、単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンド基板の製造方法、単結晶ダイヤモンド基板及び半導体デバイス

(57) 【要約】

【課題】本発明は、熱膨張係数の異なる材料の基板を用いた場合であっても、悪影響を生じることなく、大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド膜を形成できる、単結晶ダイヤモンドの製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】上記課題を解決するべく、本発明は、基板20上に複数の原子状Siを分散吸着させ、前記原子状Siを発生中心としたダイヤモンド結晶核10を形成する工程と、前記基板20上に、前記ダイヤモンド結晶核10からなるダイヤモンド結晶核群パターン11を形成する工程と、前記ダイヤモンド結晶核群パターン11を形成したダイヤモンド結晶核10から、ダイヤモンド結晶を選択的に成長させることで、単結晶ダイヤモンド30を形成する工程と、を備えることを特徴とする。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板上に複数の配向した微小単結晶ダイヤモンドを成長する工程と、該微小単結晶ダイヤモンドからなるダイヤモンド結晶核群を選択的に成長及び一体化させる工程と、を備えることを特徴とする単結晶ダイヤモンドの製造方法。

【請求項 2】

基板上に複数の原子状Siを分散吸着させ、少なくとも炭素を含有するプラズマ中で前記基板にバイアス電圧を印加することで、前記基板上に、前記原子状Siを発生中心とし配向したたダイヤモンド結晶核を形成する工程と、

前記基板上に、前記ダイヤモンド結晶核からなるダイヤモンド結晶核郡パターンを形成する工程と、

前記パターンを形成したダイヤモンド結晶核郡から、ダイヤモンド結晶を選択的に成長及び一体化させることで、単結晶ダイヤモンドを形成する工程と、を備えることを特徴とする単結晶ダイヤモンドの製造方法。

【請求項 3】

前記ダイヤモンド結晶の選択的な成長は、横方向エピタキシャル成長によって行うことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の単結晶ダイヤモンドの製造方法。

【請求項 4】

前記ダイヤモンド結晶核郡パターンの形成は、前記基板上に複数の前記ダイヤモンド結晶核を形成した後、該ダイヤモンド結晶核の一部を除去することによって行うことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の単結晶ダイヤモンドの製造方法。

【請求項 5】

前記基板として、SOI基板を用いることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の単結晶ダイヤモンドの製造方法。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の単結晶ダイヤモンドの製造方法によって得られた単結晶ダイヤモンド。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の単結晶ダイヤモンドを同一基板上に複数配置し、それぞれ選択的に成長及び一体化させることを特徴とする単結晶ダイヤモンド基板の製造方法。

【請求項 8】

前記基板として、SOI基板を用いることを特徴とする請求項 7 に記載の単結晶ダイヤモンド基板の製造方法。

【請求項 9】

請求項 7 又は 8 に記載の単結晶ダイヤモンド基板の製造方法によって得られた単結晶ダイヤモンド基板。

【請求項 10】

請求項 6 に記載の単結晶ダイヤモンド又は請求項 9 に記載の単結晶ダイヤモンド基板を用いた半導体デバイス。

【請求項 11】

ダイヤモンド単結晶を縦型のハイパワーデバイス活性領域として用い、基板上には信号制御及び前記パワーデバイスのドライブ回路を集積することを特徴とする半導体デバイス。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、単結晶ダイヤモンドの製造方法、単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンド基板の製造方法、単結晶ダイヤモンド基板及び半導体デバイス、特に、熱膨張係数の異なる材料の基板を用いた場合であっても、悪影響を生じることなく大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド膜を形成できる、単結晶ダイヤモンドの製造方法、並びに、該単結晶ダイ

10

20

30

40

50

ダイヤモンドの製造方法によって得られた単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンド基板の製造方法、単結晶ダイヤモンド基板及び単結晶ダイヤモンド半導体デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、エネルギー・環境問題を背景として、スマートグリッドや電気自動車（EV）といった大電力・省エネ制御を目的としたパワーデバイスの要求が高まっているが、これまでのSiを中心とするパワーデバイスでは、大電力化にともない電力効率の低下がみられる。これは、Siの小さなバンドギャップでは、高電圧に対し電界強度を低く抑えるため素子長を長くする必要があり、それに伴ったジュール熱が電力効率の低下を引き起こすと考えられるためである。

現在では、バンドギャップの大きなSiCを適用したパワーデバイスの開発が進められ実用段階に入っている。また、経産省のロードマップによれば、SiCパワーデバイスの後継候補として、ダイヤモンド・パワーデバイスの実現が期待されている。ダイヤモンド・デバイスの研究開発は、ホモエピタキシャル成長が現在主流となっており、デバイス開発と並行してダイヤモンド基板の作製・大型化の研究が進められているものの、未だ十分に要件を満たすものはなかった。

【0003】

デバイス作製に適した大面積のダイヤモンド結晶基板を得ることを目的とした技術として、例えば特許文献1及び2には、複数個の小型ダイヤモンド単結晶基板を、その結晶方位を一致させるように配置し、気相合成法により前記種基板上にダイヤモンド単結晶を成長させて全面一体化するダイヤモンド単結晶基板の製造技術が開示されている。

しかしながら、特許文献1及び2に記載された技術を用いた場合であっても、上述したように、大面積のダイヤモンド単結晶基板を得ること自体が困難であることから、所望のダイヤモンド単結晶基板を得るためには長時間を要するという問題があった。

【0004】

一方、本発明者らは、従来の単結晶ダイヤモンドのホモエピタキシャル成長技術とは異なる切り口から、例えば、Si基板上にダイヤモンド単結晶膜を形成するような、単結晶ダイヤモンドのヘテロエピタキシャル成長技術の開発を行っている。

1992年には、本発明者らのグループが、ダイヤモンド核発生時にプラズマ中のSi基板への負バイアス印加が有効であることを示し、その方法はバイス法（BEN法：Bias Enhanced Nucleation）として、ダイヤモンド結晶核を形成するための世界的な標準プロセスとなっている（非特許文献1）。

【0005】

また、大面積ダイヤモンドを得る技術として、例えば非特許文献2には、複数個の小型ダイヤモンド単結晶基板を、配置し、気相合成法により前記種基板上にダイヤモンド単結晶を成長させて一体化させる技術（モザイク法）が開示されている。

【0006】

さらに、特許文献3には、従来よりも大型のダイヤモンド単結晶を得る為に、ダイヤモンド基板上に結晶を成長させ、更に側面や上面に結晶を成長させる、ことで最終的に大面積のダイヤモンド単結晶を作製し、得られたダイヤモンド単結晶をスライスして種基板とし、これを基板の上で接合させ、この上にダイヤモンド単結晶を成長させる（モザイク法）技術が開示されている。

この方法によれば従来のダイヤモンド単結晶より大型の単結晶が得られる利点がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】国際公開第2004/067812号

【特許文献2】特開2009-137779号公報

【特許文献3】特開2006-327862号公報

【非特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

【非特許文献1】S.Yugo, T. Kanai, T. Kimura, and T. Muto, Appl. Phys. Lett. 58, 1036頁、1991年

【非特許文献2】G. Janssen, L.J. Giling, "Mosaic" growth of diamond, Diamond and Related Materials 4, 1025-1031頁、1995年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、従来のBEN法を用いたダイヤモンド結晶核の形成技術)では、基板の結晶方位に対し形成されたダイヤモンド結晶核の配向性がなく、ランダムに形成されるため、成長させて得られるダイヤモンド結晶の方位にばらつきが生じ多結晶となり、デバイス作製に必要とされる大きさの単結晶を得ることができない、という問題があった。

さらに、ヘテロエピタキシャル成長技術を用いた場合、基板と形成されたダイヤモンド結晶との熱膨張係数の差によって、エピタキシャル成長後の、基板の反りや割れ、ダイヤモンド結晶膜の剥離が生じるという問題があった。

【 0 0 1 0 】

そのため、本発明は、熱膨張係数の異なる材料の基板を用いた場合であっても、悪影響を生じることなく、大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド膜を形成できる、単結晶ダイヤモンドの製造方法を提供すること、また、該単結晶ダイヤモンドの製造方法によって得られた大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンド基板の製造方法、単結晶ダイヤモンド基板及びハイパワーデバイスの要求に対応した単結晶ダイヤモンド半導体デバイスを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意検討を行った結果、基板上に複数の配向した微小単結晶ダイヤモンドを成長させ、該微小単結晶ダイヤモンドからなるダイヤモンド結晶核群を選択的に成長及び一体化させることによって、ダイヤモンド結晶の方位にばらつきが生じた多結晶となることなく高品質の単結晶が得られることを見出した。

さらに、単結晶基板(例えばSi(100)基板)上に複数の原子状Siを分散吸着させると同時にBEN法を適用し、この原子状Siを発生中心として選択的にダイヤモンド結晶核を形成することによって、基板結晶方位に配向したダイヤモンド結晶核を形成できること、さらに、基板上に配向したダイヤモンド結晶核からなるダイヤモンド結晶核郡パターンを形成することによって、基板結晶方位に配向した微小単結晶ダイヤモンドを並べて配置し、基板材料とダイヤモンドとの熱膨張率を考慮した上でダイヤモンド単結晶を成長及び一体化(モザイク成長)させることができるため、エピタキシャル成長後の、基板の反りや割れ、ダイヤモンド結晶膜の剥離を抑えることができることを見出した。

【 0 0 1 2 】

本発明は、このような知見に基づきなされたもので、その要旨は以下の通りである。

本発明の第1の実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、基板上に複数の配向した微小単結晶ダイヤモンドを成長する工程と、該微小単結晶ダイヤモンドからなるダイヤモンド結晶核群を選択的に成長及び一体化させる工程と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の第2の実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、基板上に複数の原子状Siを分散吸着させ、少なくとも炭素を含有するプラズマ中で前記基板にバイアス電圧を印加することで、前記基板上に、前記原子状Siを発生中心としたダイヤモンド結晶核を形成する工程と、前記基板上に、前記ダイヤモンド結晶核からなるダイヤモンド結晶核郡パターンを形成する工程と、該パターンを形成したダイヤモンド結晶核郡から、ダイヤモンド結晶を選択的に成長させることで、単結晶ダイヤモンドを形成する工程と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

また、前記単結晶ダイヤモンドの製造方法は、前記ダイヤモンド結晶の選択的な成長を、横方向エピタキシャル成長によって行うことが好ましい。

【0015】

さらに、前記単結晶ダイヤモンドの製造方法は、前記ダイヤモンド結晶核郡パターン形成を、前記基板上に複数の前記ダイヤモンド結晶核を形成した後、該ダイヤモンド結晶核の一部を除去することによって行うことが好ましい。

【0016】

また、前記単結晶ダイヤモンドの製造方法は、前記基板として、SOI基板を用いることが好ましい。

【0017】

本発明の単結晶ダイヤモンドは、本発明の単結晶ダイヤモンドの製造方法によって得られたものである。

【0018】

本発明の半導体デバイスは、本発明の単結晶ダイヤモンドを用いたものである。

また、本発明の半導体デバイスは、ダイヤモンド単結晶が縦型のハイパワーデバイス活性領域として用い、基板上には信号制御及び前記パワーデバイスのドライブ回路を集積することが好ましい。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、熱膨張係数の異なる材料の基板を用いた場合であっても、悪影響を生じることなく、大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド膜を形成できる、単結晶ダイヤモンドの製造方法、該単結晶ダイヤモンドの製造方法によって得られた大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンド基板の製造方法、単結晶ダイヤモンド基板、及び、ハイパワーデバイスの要求に対応した半導体デバイスを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】(a)、(b)及び(c)は、本発明の一実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法について、工程の流れを模式的に示した図である。

【図2】(a)及び(b)は、BEN法のみを用いたダイヤモンドの製造方法について、工程の流れを模式的に示した図である。

【図3】本発明の一実施形態に係るダイヤモンド結晶核の形成工程について、流れを模式的に示した図である。

【図4】(a)は、選択成長を説明するための模式図であり、(b)は、横方向エピタキシャル成長によってダイヤモンド結晶を成長させる流れを模式的に示した図である。

【図5】(a)は、本発明の一実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法を用いて、ダイヤモンド結晶を30分成長させた際の状態を示した写真であり、(b)は、本発明の一実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法を用いて、ダイヤモンド結晶を成長させた後の状態を示した写真である。

【図6】従来の単結晶ダイヤモンドの製造方法を用いて、ダイヤモンド結晶を2時間成長させた際の状態を示した写真である。

【図7】(a)～(d)は、基板上にSOIを用いて単結晶ダイヤモンドを成長させた際の流れを模式的に示した図である。

【図8】実施例によって得られたSOI基板上単結晶ダイヤモンド及び比較例によって得られたSi基板上単結晶ダイヤモンドの結晶性を、それぞれ示したグラフである。

【図9】本発明の一実施形態に係る半導体デバイスを模式的に示した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施形態について具体的に説明する。

<単結晶ダイヤモンドの製造方法>

本発明の第1の実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、基板上に複数の配向

10

20

30

40

50

した微小単結晶ダイヤモンドを成長する工程と、該微小単結晶ダイヤモンドからなる群を選択的に成長及び一体化させる工程とを備える。

基板上に配向した微小単結晶ダイヤモンドを成長させることによって、成長の際にダイヤモンド結晶の方位にばらつきが生じて多結晶となることを抑制し、高品質の単結晶を得ることができる。

【0022】

また、本発明の第2の実施形態に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、図1に示すように、基板20上に複数の原子状Siを分散吸着させ、少なくとも炭素を含有するプラズマ中で前記基板20にバイアス電圧を印加することで、前記基板20上に、前記原子状Siを発生中心としたダイヤモンド結晶核10を形成する工程(図1(a))と、

前記基板上に、前記ダイヤモンド結晶核10からなるダイヤモンド結晶核郡パターン11を形成する工程(図1(b))と、

前記ダイヤモンド結晶核郡パターン11を形成したダイヤモンド結晶核10から、ダイヤモンド結晶を選択的に成長および一体化(モザイク成長)させることで、単結晶ダイヤモンド30を形成する工程(図1(c))と、を備える。

上記構成を備えることで、配向したダイヤモンド結晶核を用い、基板材料とダイヤモンドとの熱膨張率を考慮した上でデバイスサイズのダイヤモンド単結晶を部分的に成長させることができるため、ダイヤモンドとは熱膨張係数の異なる材料からなる基板20を用いた場合であっても、基板20の反りや割れ、ダイヤモンド単結晶30の剥離等の悪影響を生じることなく、デバイスサイズの大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド膜を形成できる。

【0023】

一方、従来のBEN法のみを用いた単結晶ダイヤモンドの製造方法では、図2に示すように、ダイヤモンド結晶核12は、配向のない状態で基板20上に形成される(図2(a))。そのため、それぞれの結晶核12から自由に成長が始まるため、図2(b)に示すように、得られた単結晶ダイヤモンド31は、サイズが小さく、配向性がない状態で凝集している。

【0024】

なお、前記基板については、特に限定はされず、例えば、Si、SiC、GaN等の単結晶基板を用いることができる。

その中でも、前記基板として、SOI基板を用いることが好ましく、酸化膜層が緩衝層となり単結晶ダイヤモンド膜とSi基板との熱膨張率の差を緩和する効果が得られる。これにより単結晶ダイヤモンド膜30と薄厚のSi基板22とからなるウェハを得ることができる。

【0025】

また前記部分的に形成した単結晶ダイヤモンド膜をさらに成長及び一体化させ基板と同程度の大きさの単結晶ダイヤモンド膜を形成した場合、Si基板との熱膨張率の差を利用し埋込み酸化膜層を犠牲層として、単結晶ダイヤモンド膜30と薄厚のSi基板22とからなるウェハを得ることができる。

例えば、図7に示すように、酸化膜21bを有するSOI基板21を用意し(図7(a))、ダイヤモンド単結晶30を成長させる(図7(b))。成長後、ダイヤモンドとSiとの熱膨張率の差によって、前記SOI基板21は変形し、酸化膜21bに応力がかかり(図7(c))、その後、前記酸化膜21bの部分を境にSOI基板21は割れ、単結晶ダイヤモンド膜30と薄厚のSi基板22とからなるウェハを得ることができる(図7(d))。

【0026】

(ダイヤモンド結晶核形成工程)

本発明に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、図1(a)に示すように、前記基板20上に、原子状Siを発生中心としたダイヤモンド結晶核10を形成する工程(ダイヤモンド結晶核形成工程)を備える。

前記基板20上に、原子状Siを分散吸着させ、その原子状Siを発生中心とすることで、

10

20

30

40

50

基板 20 に配向したダイヤモンド結晶核 10 を形成できる。

【0027】

従来のBEN法のみを用いてダイヤモンド結晶核を形成する場合には、アモルファス炭素の塊からのダイヤモンド臨界核が自然発生するため、基板の面方位とは独立してランダムな結晶核を形成し、ダイヤモンド結晶核の配向性は得られなかった。

一方、本発明の前記結晶核形成工程では、例えば図3に示すように、基板20上に複数の原子状Siを分散吸着させ(図3(a))、少なくとも炭素を含有するプラズマ(図3ではSiH₃ラジカル)雰囲気中で、前記基板20にバイアス電圧を印加することで、SiにC原子を接合させ、ダイヤモンド結晶核を形成できる。

【0028】

ここで、前記基板上に、前記原子状Siを分散吸着させる方法としては、特に限定はされず、例えば、真空蒸着や、スパッタ法、また、バイアス印加時に炭素を含有するプラズマに原子状Siを同時に添加することで、前記基板20と前記原子状Siとを結合させ、Siを吸着させることができる。その中でも図3に示すように、核形成初期に炭素を含有するプラズマにSi、SiHラジカルを添加することが好ましい。前記ダイヤモンド結晶核10を効率的に形成できるからである。

【0029】

また、前記基板に印加するバイアス電圧についても、特に限定はされないが、前記ダイヤモンド結晶核10を効率的に形成する点から、-70~-100V程度であることが好ましい。

さらにまた、前記バイアス電圧の印加時間についても、特に限定はされないが、30秒~3分程度であることが好ましい。

【0030】

(ダイヤモンド結晶核郡パターン形成工程)

本発明に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、前記ダイヤモンド結晶核形成工程の後、図1(b)に示すように、前記基板上に、前記ダイヤモンド結晶核からなるダイヤモンド結晶核郡パターン11を形成する工程(ダイヤモンド結晶核郡パターン形成工程)を備える。

前記ダイヤモンド結晶核郡パターン11を形成することで、基板材料とダイヤモンドとの熱膨張率を考慮した上でダイヤモンド単結晶を成長させることができる。

【0031】

ここで、前記ダイヤモンド結晶核郡パターンとは、1つ又は複数の前記ダイヤモンド結晶核から構成された形状のことをいい、例えば図1(b)では、複数のダイヤモンド結晶核10によって、複数の正方形からなるパターンが形成されている。ただし、必ずしも規則的なパターン形状が必要であるというのではなく、基板材料とダイヤモンドとの熱膨張率を考慮した上で配向したダイヤモンド単結晶同士の距離を開けてランダムに配置するような場合も本発明でのパターンに含まれる。つまり、「ダイヤモンド結晶核郡パターン」とは、任意の条件となるように配置させたダイヤモンド結晶核群の状態のことをいう。

【0032】

前記ダイヤモンド結晶核郡パターンの形状については、例えば図1(b)に示すように、複数の正方形からなるパターンを形成することもできるし、ストライプ状、格子状等、任意の形状を採用することができる。また、上記ダイヤモンド結晶核郡パターン形状の中でも、大面積の単結晶ダイヤモンドへ成長させやすいという点からは、図1(b)に示すように、複数の正方形からなるパターンを形成することが好ましい。

なお、前記ダイヤモンド結晶核郡パターンのサイズについても特に限定はされず、目的とする単結晶ダイヤモンドのサイズに応じて、任意に設定することができる。

【0033】

なお、前記ダイヤモンド結晶核郡パターン形成工程は、図1(a)及び(b)に示すように、一旦、前記基板20上にダイヤモンド結晶核10を満遍なく形成し、その後、前記ダイヤモンド結晶核10の一部を除去することでパターンを形成することもできるし、予

10

20

30

40

50

めマスク等によって前記基板20を覆った状態で、ダイヤモンド結晶核10を形成することで、パターン状にダイヤモンド結晶核10を形成することや、分散吸着させるSiの数を減らして予めダイヤモンド結晶核10同士の間隔を空けた状態で形成すること、つまり、ダイヤモンド結晶核形成工程と結晶核パターン形成工程とを同時に行うこともできる。

ただし、前記結晶核郡パターンを高精度に描ける点からは、図1(a)及び(b)に示すように、一旦、前記基板20上にダイヤモンド結晶核10を満遍なく形成し、その後、前記ダイヤモンド結晶核10の一部を除去することでダイヤモンド結晶核郡パターンを形成することが好ましい。

【0034】

ここで、前記ダイヤモンド結晶核10の一部を除去する方法としては、特に限定はされない。例えば、フォトリソグラフィを行った後のエッチングや、スパッタリング等の方法を、パターン形状やサイズに応じて選択することができる。

【0035】

(単結晶ダイヤモンド成長工程)

本発明に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法は、前記ダイヤモンド結晶核郡パターン形成工程の後、図1(c)に示すように、前記パターン11を形成したダイヤモンド結晶核郡から、ダイヤモンド結晶を選択的に成長及び一体化させることで、単結晶ダイヤモンド30を形成する工程(単結晶ダイヤモンド成長工程)を備える。

この工程によって、所望の単結晶ダイヤモンド30へと成長させることができる。

【0036】

また、前記ダイヤモンド結晶の成長は、種々の成長方法を用いて行うことができるが、効率的に大面積の単結晶ダイヤモンド30を形成できる点からは、横方向エピタキシャル成長によって行うことが好ましい。

【0037】

ここで、前記横方向エピタキシャル成長は、図4(a)に示すように、成長しやすい結晶方位を考慮し、横方向(基板の延在方向)へ成長するように配向させた後、成長を行うことで、横方向へ結晶を成長させる方法である。この方法を用いることで、大面積の単結晶ダイヤモンドを得ることができる。

具体的には、図4(b)に示すように、横方向にダイヤモンド結晶が複数並んでいる場合には、隣り合う結晶がない高い位置から横方向へ結晶成長が行われることとなる。このような結晶成長を繰り返すことで、横方向へ成長し、一体化した大面積の単結晶ダイヤモンドを得ることができる。

【0038】

なお、前記横方向エピタキシャル成長の条件については、特に限定はされず、公知のエピタキシャル成長条件を採用することができる。

【0039】

<単結晶ダイヤモンド>

次に、本発明の単結晶ダイヤモンドについて説明する。

本発明に係る単結晶ダイヤモンドは、上述した本発明に係る単結晶ダイヤモンドの製造方法によって得られたものである。

なお、本発明の単結晶ダイヤモンドについては、前記基板上に成長した状態のまま、基板と共に用いることもできるし、基板から切り離して用いることもできる。

【0040】

また、前記単結晶ダイヤモンドのサイズは、特に限定はされないが、本発明の効果によって、面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上、厚さが $10\mu\text{m}$ 以上の単結晶ダイヤモンドを得ることができる。

【0041】

<単結晶ダイヤモンド基板>

次に、本発明の単結晶ダイヤモンド基板について説明する。

本発明に係る単結晶ダイヤモンド基板は、上述した本発明に係る配向した単結晶ダイヤモンドを同一基板上に複数配置し、それぞれ選択的に成長及び一体化させることを特徴と

10

20

30

40

50

する。

【0042】

また、前記単結晶ダイヤモンドを配置する基板は、SOI基板であることが好ましい。Si基板との熱膨張率の差を利用し埋込み酸化膜層を犠牲層として、成長及び一体化した単結晶ダイヤモンド膜と薄厚のSi基板とからなるウェハを得ることができる。

【0043】

<半導体デバイス>

次に、本発明の半導体デバイスについて説明する。

本発明に係る半導体デバイスは、上述した本発明に係る単結晶ダイヤモンド又は単結晶ダイヤモンド基板を用いたものである。本発明に係る単結晶ダイヤモンドを用いることで、ハイパワーデバイスの要求に対応した半導体デバイスを実現できる。

10

【0044】

また、本発明に係る半導体デバイスは、図9に示すように、ダイヤモンド単結晶30を縦型のハイパワーデバイス活性領域として用い、基板には信号制御及び前記パワーデバイスのドライブ回路を集積することが好ましい。

上記構成とすることで、本発明に係る単結晶ダイヤモンドを基板と接合した状態で集積システムを見据えたプラットフォームとして有効利用できることに加え、ハイパワーデバイスの要求に対応しつつ、低コスト化にも寄与できるからである。

【実施例】

【0045】

以下に、実施例を挙げて本発明をさらに詳しく説明するが、本発明は下記の実施例に何ら限定されるものではない。

20

【0046】

(実施例)

実施例では、反応容器にSiからなる基板を載置し、メタン及びモノメチルシランを導入し、原子状Si及びCH₃ラジカルを含有するプラズマ中で、Si基板にバイアス電圧(-100V)を180秒印加することで、前記原子状Siを発生中心としたダイヤモンド結晶核を前記Si基板上に満遍なく形成した(ダイヤモンド結晶核形成工程)後、前記Si基板に、前記ダイヤモンド結晶核の一部をUVリソグラフィ及びICPエッチングによって除去することで、ストライプ状(ストライプ同士の間隔3μm)のダイヤモンド結晶核郡パターンを形成した(ダイヤモンド結晶核郡パターン形成工程)。その後、前記パターンを形成したダイヤモンド結晶核郡から、ダイヤモンド結晶を、横方向エピタキシャル成長させ、一体化することで(雰囲気圧力:15kPa、メタン/水素比:3%、成長時間:2時間)、サンプルの単結晶ダイヤモンドを得た(単結晶ダイヤモンド成長工程)。

30

なお、前記ダイヤモンド結晶核から30分成長した際の状態を図5(a)、成長後の状態を図5(b)に示す。

【0047】

(比較例)

比較例では、ダイヤモンド結晶核郡パターン形成工程を行わなかったこと以外は、実施例と同様の条件によって、サンプルの単結晶ダイヤモンドを得た。

40

【0048】

<評価>

実施例及び比較例のそれぞれで得られた単結晶ダイヤモンドについて、以下の点に基づいて評価を行った。

(1)単結晶ダイヤモンドの面積

単結晶ダイヤモンドの状態を、走査型電子顕微鏡(SEM)によって観察し、面積の大きさについて確認を行った。実施例のサンプルの観察した単結晶ダイヤモンドの状態を図5(b)、比較例のサンプルの観察した単結晶ダイヤモンドの状態を図6に示す。

(2)単結晶ダイヤモンドの結晶性

単結晶ダイヤモンドについて、ラマン散乱スペクトルから単結晶ダイヤモンド特有の13

50

32cm⁻¹に鋭いピークをもつスペクトルを観測した。結晶性を示すピーク半値幅はSi基板上で6cm⁻¹、SOI基板上で4cm⁻¹である。ホモエピタキシャル成長によって得られるダイヤモンド単結晶の半値幅(2cm⁻¹)と比べても遜色ないことがわかった。実施例の使用基板の異なる単結晶ダイヤモンドのラマン散乱スペクトルを比較したものを図8に示す。

【0049】

図5(b)及び図6の結果から、実施例のサンプルの単結晶ダイヤモンドは、比較例のサンプルの単結晶ダイヤモンドに比べて、面積が大きい。さらに、SOI基板上単結晶ダイヤモンドについて、成長を10時間とすることで20μm²程度の単結晶ダイヤモンドが得られた。この実施例では、成長後基板温度の降下により熱膨張係数の差が生じ、酸化膜部分からのダイヤモンド膜の剥離が見られた。剥離基板の結晶性については、単結晶ダイヤモンドのラマンピーク半値幅は4cm⁻¹であり、結晶性についてはホモエピタキシャル・ダイヤモンドに比べても遜色ないことがわかった。

10

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明によれば、熱膨張係数の異なる材料の基板を用いた場合であっても、悪影響を生じることなく、大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド膜を形成できる、単結晶ダイヤモンドの製造方法、並びに、該単結晶ダイヤモンドの製造方法によって得られた大面積且つ高品質の単結晶ダイヤモンド及びハイパワーデバイスの要求に対応した半導体デバイスを提供できる。

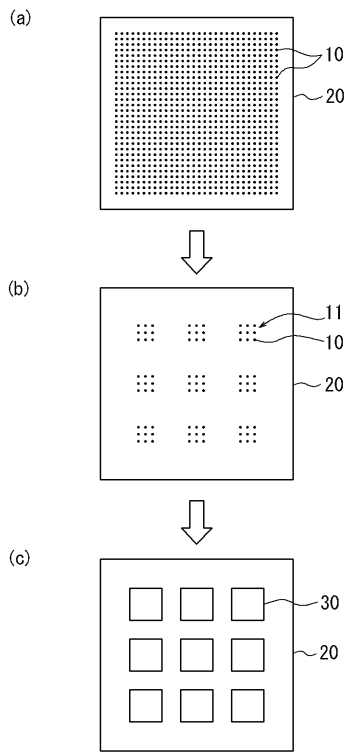
20

【符号の説明】

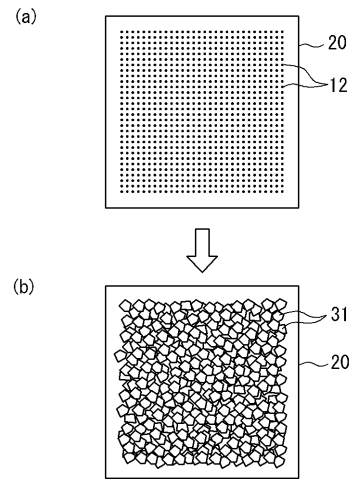
【0051】

- 10、12 ダイヤモンド結晶核
- 11 ダイヤモンド結晶核郡パターン
- 20 基板
- 21 SOI基板
- 22 Si基板
- 30 単結晶ダイヤモンド

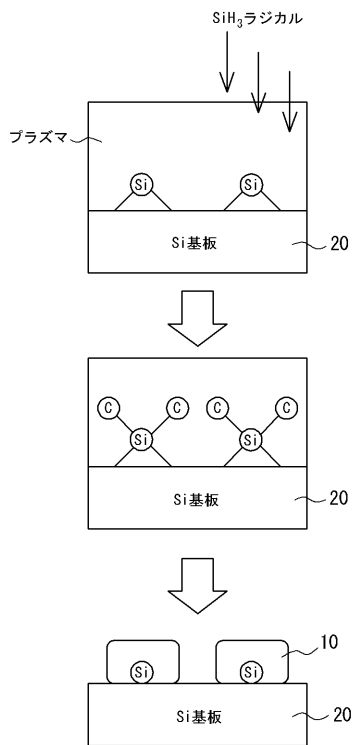
【 図 1 】



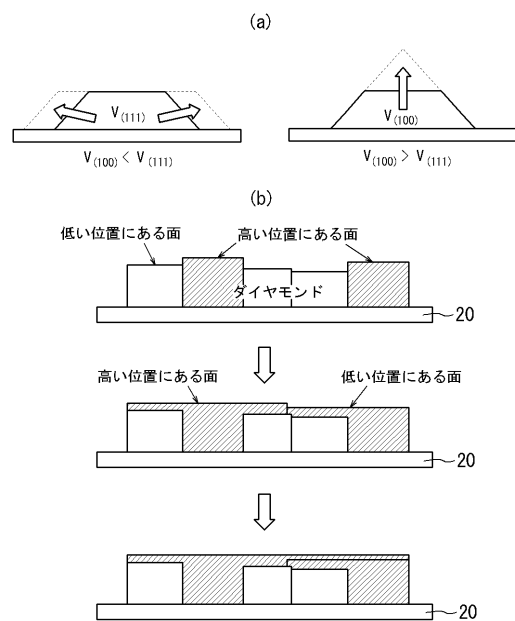
【 図 2 】



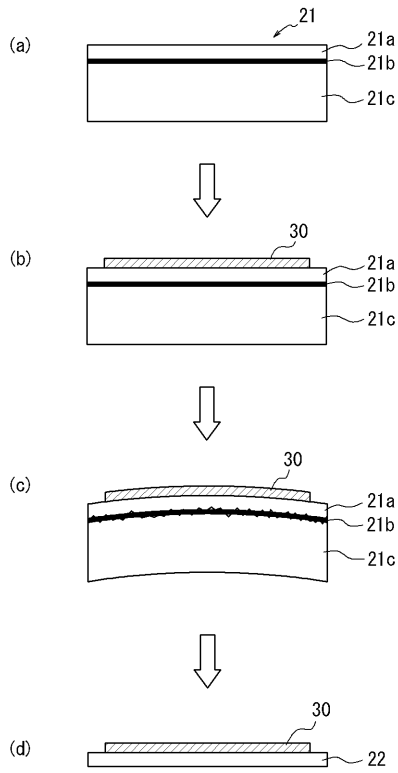
【 図 3 】



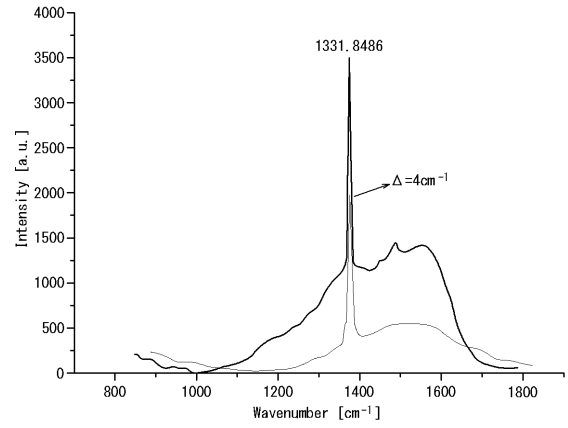
【 図 4 】



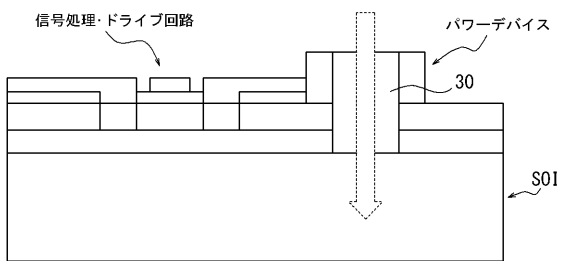
【 図 7 】



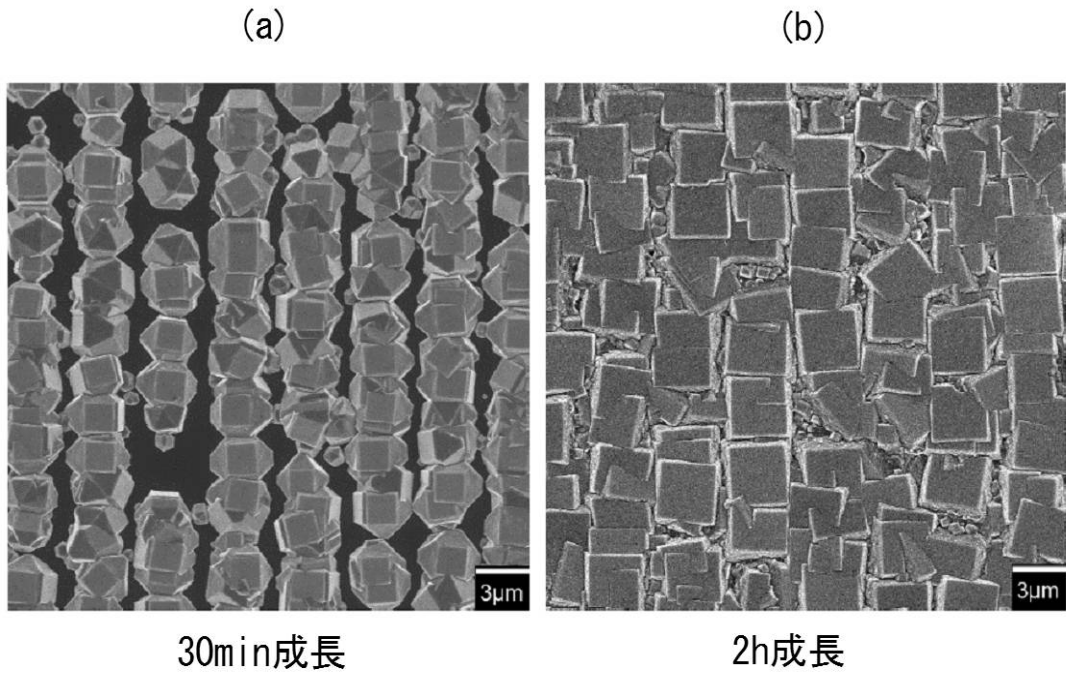
【 図 8 】



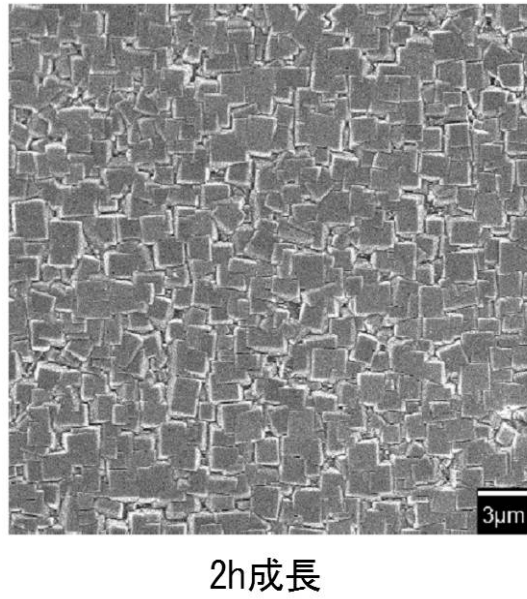
【 図 9 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 小宮 一輝

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

(72)発明者 小島 隆平

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

Fターム(参考) 4G077 AA03 BA03 DB07 DB16 ED06 EE02 EE05 HA06 HA12
4G146 AA04 AB07 AC16B AD30 BA12 BB22 BB23 BC09 BC16
4K030 AA10 AA11 BA28 BB04 CA04 CA12 FA01 LA15