(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4845314号
(P4845314)
(45)発行日　平成23年12月28日(2011.12.28)　(24)登録日　平成23年10月21日(2011.10.21)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 21/205 (2006.01)　H01L 21/205
H01L 33/32 (2010.01)　H01L 33/00 186

請求項の数 38 (全 14 頁)

(21)出願番号　特願2001-547638(P2001-547638)
(86)(22)出願日　平成12年12月13日(2000.12.13)
(65)公表番号　特表2003-518737(P2003-518737A)
(43)公表日　平成15年6月10日(2003.6.10)
(86)国際出願番号　PCT/US2000/042818
(87)国際公開番号　WO2001/047002
(87)国際公開日　平成13年6月28日(2001.6.28)
審査請求日　平成19年12月13日(2007.12.13)
(31)優先権主張番号　09/468,995
(32)優先日　平成11年12月21日(1999.12.21)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　500091542
ノース　カロライナ　ステート　ユニバーシティ
アメリカ合衆国　ノースカロライナ州　２７６９５－７００３　ローリー　キャンパス　ボックス　７００３
(74)代理人　100089705
弁理士　社本　一夫
(74)代理人　100076691
弁理士　増井　忠弐
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰
(74)代理人　100080137
弁理士　千葉　昭男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】脆弱なポスト上に窒化ガリウム半導体層を作製するペンデオエピタキシャル法及びそれによって作製した窒化ガリウム半導体構造

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
窒化ガリウム半導体層を作製する方法であって、
基板の表面の下に水素イオンを打ち込んで、該基板に埋込領域を形成する工程と、
前記基板を選択エッチングして、前記埋込領域に形成されたポスト脆弱化領域を含む複数の脆弱なポストを前記基板上に形成する工程であって、該脆弱なポストは、複数のサイドウォールを規定し、前記脆弱なポストは、前記基板と前記脆弱なポスト上のその後に形成される窒化ガリウム半導体層との間の熱膨張率の不一致によってクラックを生じるように設計されている、形成工程と、
窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、前記脆弱なポストの前記サイドウォールから、前記窒化ガリウム層を高温で成長させる成長工程と、
前記高温を低下させることで、前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記脆弱なポストの少なくとも幾つかにクラックを生じ、それによって前記窒化ガリウム半導体層中の応力を除去する、クラック生成工程と、
を含む方法。
【請求項２】
前記成長工程は、片持ち梁状の窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、前記脆弱なポストの前記サイドウォールから、前記基板から片持ち梁状に突き出る窒化ガリウム層を、高温でペンデオエピタキシャル成長させる工程を含み、
前記クラック生成工程は、前記高温を低下させることで、前記基板と前記窒化ガリウム

半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記基板と前記片持ち梁状の窒化ガリウム層との間の前記脆弱なポストの少なくとも幾つかにクラックを生じ、それによって前記窒化ガリウム半導体層中の応力を除去する工程を含む、
請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記形成工程は、前記基板上で間隔を置いて離れた関係にあるポストのアレイを形成する工程を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記形成工程は、０．５を超える高さ対幅の比を有する複数のポストを前記基板上に形成する工程を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記クラック生成工程は、前記高温を低下させることで、前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記脆弱なポストの少なくとも幾つかは剪断され、それによって前記窒化ガリウム半導体層中の応力を除去する工程を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項６】
前記クラック生成工程は、前記高温を低下させることで、前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記脆弱なポストの全てにクラックを生じ、それによって前記窒化ガリウム半導体層を前記基板から分離し、自立形窒化ガリウム半導体層を生成する工程を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
前記クラック生成工程の後に、前記窒化ガリウム半導体層を脆弱化されたポストにおいて前記基板から分離して、自立形窒化ガリウム半導体層を生成する分離工程が続く、請求項１に記載の方法。
【請求項８】
前記分離工程の後に、前記自立形窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる工程が続く、請求項７に記載の方法。
【請求項９】
前記窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる工程は、前記成長工程と前記クラック生成工程との間に実行される、請求項１に記載の方法。
【請求項１０】
窒化ガリウム半導体層を作製する方法であって、
基板の表面の下に水素イオンを打ち込んで、該基板に埋込領域を形成する工程と、
前記基板を選択エッチングして、前記埋込領域に形成されたポスト脆弱化領域を含む複数のポストを前記基板上に形成する工程であって、該ポストは、複数のサイドウォールを規定する、形成工程と、
窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、前記ポストの前記サイドウォールから、前記窒化ガリウム層を高温で成長させる成長工程と、
前記高温を低下させる低下工程と、
を含む方法。
【請求項１１】
前記成長工程は、片持ち梁状の窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、前記その中に前記基板に隣接したポスト脆弱化領域を含むポストの前記サイドウォールから、前記基板から片持ち梁状に突き出る窒化ガリウム層を、高温でペンデオエピタキシャル成長させる工程を含む、請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
前記形成工程は、その中に前記基板に隣接したポスト脆弱化領域を含み、０．５を超える高さ対幅の比を有する複数のポストを形成する工程を含む、請求項１０に記載の方法。
【請求項１３】
前記低下工程の後に、前記窒化ガリウム半導体層を前記ポスト脆弱化領域において前記

基板から分離して、自立形窒化ガリウム半導体層を生成する分離工程が続く、請求項１０に記載の方法。
【請求項１４】
前記分離工程の後に、前記自立形窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる工程が続く、請求項１３に記載の方法。
【請求項１５】
前記窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる工程は、前記成長工程と前記低下工程との間に実行される、請求項１０に記載の方法。
【請求項１６】
窒化ガリウム半導体構造であって、
基板と、
複数のサイドウォールを含み前記基板上にある複数のポストであって、水素気泡を含むポスト脆弱領域を含む複数のポストと、
隣接するポストの前記サイドウォールの間に延在する窒化ガリウム層と、
を備え、前記ポストの少なくとも１つは、前記基板と前記窒化ガリウム層との間でクラックを生じる、窒化ガリウム半導体構造。
【請求項１７】
前記窒化ガリウム半導体層は、隣接するポストの前記サイドウォールの間に延在し、前記基板から間隔を置いて離される、請求項１６に記載の構造。
【請求項１８】
前記複数のポストは、前記基板上で間隔を置いて離れた関係にあるポストのアレイを含む、請求項１６に記載の構造。
【請求項１９】
前記複数のポストは、０．５を超える高さ対幅の比を有する、請求項１６に記載の構造。
【請求項２０】
前記複数のポストは幅２分の１ミクロン未満である、請求項１６に記載の構造。
【請求項２１】
前記ポストの少なくとも幾つかは、前記基板と前記窒化ガリウム層との間でクラックを生じ、剪断される、請求項１６に記載の構造。
【請求項２２】
前記複数のポストは、０．５を超える高さ対幅の比を有する、請求項１８に記載の構造。
【請求項２３】
前記複数のポストは幅２分の１ミクロン未満である、請求項１８に記載の構造。
【請求項２４】
前記ポストは、その中に前記基板に隣接したポスト脆弱化領域を含む、請求項１８に記載の構造。
【請求項２５】
前記複数のポストは幅２分の１ミクロン未満である、請求項１９に記載の構造。
【請求項２６】
前記ポストは、その中に前記基板に隣接したポスト脆弱化領域を含む、請求項１９に記載の構造。
【請求項２７】
前記ポストは、その中に前記基板に隣接したポスト脆弱化領域を含む、請求項２０に記載の構造。
【請求項２８】
前記ポストはそれぞれ、その端部に鋭角の先端部を含む、請求項１６に記載の構造。
【請求項２９】
前記窒化ガリウム半導体層上にエピタキシャル窒化ガリウム層をさらに備える、請求項

１６に記載の構造。
【請求項３０】
窒化ガリウム半導体層を作製する方法であって
基板の表面の下に水素イオンを注入して、該基板に埋込領域を形成する工程と、
前記基板を選択エッチングして、複数のサイドウォールを規定する複数のポストを前記基板上に形成する工程であって、前記ポストは、前記基板と前記ポスト上のその後に形成される窒化ガリウム半導体層との間の熱膨張率の不一致を有する、形成工程と、
窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、前記ポストの前記サイドウォールから、前記窒化ガリウム層を高温で成長させる成長工程と、
前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記ポストの少なくとも幾つかにクラックを生じるように、前記高温を低下させる低下工程と、
を含む方法。
【請求項３１】
前記成長工程は、片持ち梁状の窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、前記ポストの前記サイドウォールから、前記基板から片持ち梁状に突き出る窒化ガリウム層を、高温でペンデオエピタキシャル成長させる工程を含み、
前記低下工程は、前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記基板と前記片持ち梁状の窒化ガリウム層との間の前記ポストの少なくとも幾つかにクラックを生じるように、前記高温を低下させる工程を含む、
請求項３０に記載の方法。
【請求項３２】
前記形成工程は、前記基板上で間隔を置いて離れた関係にあるポストのアレイを形成する工程を含む、請求項３０に記載の方法。
【請求項３３】
前記形成工程は、０．５を超える高さ対幅の比を有する複数のポストを前記基板上に形成する工程を含む、請求項３０に記載の方法。
【請求項３４】
前記低下工程は、前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記ポストの少なくとも幾つかが剪断されるように、前記高温を低下させる工程を含む、請求項３０に記載の方法。
【請求項３５】
前記低下工程は、前記基板と前記窒化ガリウム半導体層との間の前記熱膨張率の不一致によって、前記ポストの全てにクラックを生じるように、前記高温を低下させる工程を含む、請求項３０に記載の方法。
【請求項３６】
前記低下工程の後に、前記窒化ガリウム半導体層を前記クラックしたポストにおいて前記基板から分離して、自立形窒化ガリウム半導体層を生成する、分離工程が続く、請求項３０に記載の方法。
【請求項３７】
前記分離工程の後に、前記自立形窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる工程が続く、請求項３６に記載の方法。
【請求項３８】
前記窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させる工程は、前記成長工程と前記低下工程との間に実行される、請求項３０に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
連邦の援助による研究
本発明は、海軍研究局（Office of Naval Research）による契約第Ｎ０００１４－９６－１－０７６５号、第Ｎ０００１４－９８－１－０３８４号、及び第Ｎ０００１４－９８－１－０６５４号の下で政府の援助によりなされた。政府は、本発明に一定の権利を有する

ことができる。

【０００２】

発明の分野

本発明は、超小型電子装置及び製造方法に関し、より詳細には、窒化ガリウム半導体装置及びその製造方法に関する。

【０００３】

発明の背景

窒化ガリウムは、超小型電子装置（トランジスタ、電界エミッタ及び光電子装置が挙げられるが、これらに限定されるものではない）のために広く研究されつつある。本明細書において使用する窒化ガリウムはまた、窒化ガリウムの合金の例えば窒化アルミニウムガリウム、窒化インジウムガリウム及び窒化アルミニウムインジウムガリウムを含むことは理解できよう。

【０００４】

窒化ガリウムを基にした超小型電子装置を製造する際の主要な問題は、低欠陥密度を有する窒化ガリウム半導体層の作製である。欠陥密度の一因は、基板（この上に窒化ガリウム層を成長させる）であることが周知である。従って、窒化ガリウム層をサファイア基板上に成長させてはいるが、欠陥密度を低減するために、窒化ガリウム層を、窒化アルミニウムバッファ層（これ自体が炭化ケイ素基板上に形成されている）上に成長させることが周知である。こうした進歩にもかかわらず、欠陥密度の低減を引き続き行うことが望ましい。

【０００５】

また、低欠陥密度窒化ガリウム層を生成するために窒化ガリウムの層上にマスクを形成することが周知であり、マスクは、下にある窒化ガリウムの層を露出する少なくとも１つの開口部をその中に含み、マスクの上の少なくとも１つの開口部を通して、下にある窒化ガリウムの層を横方向成長させる。この技術はしばしば“エピタキシャル横方向被覆成長（Epitaxial Lateral Overgrowth）”（ＥＬＯ）と呼ばれる。窒化ガリウムがマスク上で融合してマスク上に単一層を形成するまで、窒化ガリウムの層を横方向成長させてよい。比較的に低い欠陥密度を有する窒化ガリウムの連続層を形成するために、下にあるマスクの開口部とは心違いの少なくとも１つの開口部を含む第２のマスクを、横方向被覆成長した窒化ガリウム層上に形成してよい。ＥＬＯを次に第２のマスクの開口部を通して再度実行し、それによって第２の低欠陥密度連続窒化ガリウム層を被覆成長させる。次いで、超小型電子装置を、この第２の被覆成長した層中に形成してよい。窒化ガリウムのＥＬＯは、例えば、Lateral Epitaxy of Low Defect Density GaN Layers Via Organometallic Vapor Phase Epitaxy to Nam et al., Appl. Phys. Lett. Vol. 71, No. 18, November 3, 1997, pp. 2638-2640；及びDislocation Density Reduction Via Lateral Epitaxy in Selectively Grown GaN Structures to Zheleva et al., Appl. Phys. Lett. Vol. 71, No. 17, October 27, 1997, pp. 2472-2474と称する発表に説明されており、その開示を、本明細書において参考のために引用する。

【０００６】

また、低欠陥密度を有する窒化ガリウムの層を作製するために、下にある窒化ガリウムの層中に少なくとも１つのトレンチまたはポストを形成して、少なくとも１つのサイドウォールをその中に規定することが周知である。次に窒化ガリウムの層を、少なくとも１つのサイドウォールから横方向成長させる。横方向成長は好ましくは、横方向成長した層がトレンチ内部で融合するまで行われる。また好ましくは横方向成長を、サイドウォールから成長した窒化ガリウム層がポストの頂部の上に横方向被覆成長するまで続ける。横方向成長を促進し、窒化ガリウムの核生成と垂直方向の成長とを引き起こすために、ポストの頂部及び／またはトレンチ底部を隠してよい。トレンチ及び／またはポストのサイドウォールからの横方向成長はまた“ペンデオエピタキシー”と呼ばれ、例えば、Pendeo-Epitaxy: a New Approach for Lateral Growth of Gallium Nitride Films by Zheleva et al., Journal of Electronic Materials, Vol. 28, No. 4, February 1999, pp. L5-L8；及びP

endeoepitaxy of Gallium Nitride Thin Films by Linthicum et al., Applied Physics Letters, Vol. 75, No. 2, July, 1999, pp. 196-198と称する発表に説明されており、その開示を、本明細書において参考のために引用する。

【０００７】

ペンデオエピタキシーは、超小型電子用途のための、比較的に大きな、低欠陥の窒化ガリウム層を提供できる。残念ながら、ペンデオエピタキシーによって作製した窒化ガリウム層は、作製の最中は低欠陥密度を有し得るが、作製後にクラック及び他の欠陥を示し得ることが見い出された。特に、ペンデオエピタキシャル層は一般に非窒化ガリウム基板上に形成されるので、高い成長温度から室温に温度が低下するにつれて、基板とペンデオエピタキシャル窒化ガリウム層との間の熱膨張率の不一致によってペンデオエピタキシャル層中に応力が生じることがある。熱膨張率の不一致によるこの応力は、窒化ガリウム半導体層中にクラック及び／または他の欠陥を引き起こすことがあり、超小型電子装置用途へのこの層の適性を大きく低下させ得る。

【０００８】

その上、ペンデオエピタキシャル窒化ガリウム層は基板上に形成されるので、さらなる窒化ガリウムのバルク成長のための大面積シードとして使用できる自立形窒化ガリウム半導体層（freestanding gallium nitride semiconductor layer）を提供することが困難かもしれない。基板を除去して自立形窒化ガリウム半導体層を提供できるが、窒化ガリウム半導体層を損傷せずに従来の技術を使用して基板を除去することは困難かもしれない。

【０００９】

従って、ペンデオエピタキシーの最近の進歩にもかかわらず、低欠陥密度を有する窒化ガリウム半導体層を室温で作製する方法及び自立形窒化ガリウム半導体層を作製するための方法が、引き続き要望されている。

【００１０】

発明の要約

本発明は、基板上の脆弱なポスト上に窒化ガリウム層をペンデオエピタキシャル成長させるもので、このポストは、基板と脆弱なポスト上の窒化ガリウム層との間の熱膨張率の不一致によってクラックを生じるように設計されている。従って、冷却することで、脆弱なポストの少なくとも幾つかにクラックを生じ、それによって窒化ガリウム半導体層中の応力を除去する。従って、低欠陥密度窒化ガリウム半導体層を作製できる。その上、脆弱なポストは、自立形窒化ガリウム層を提供するための、窒化ガリウム半導体層からの基板の比較的に容易な分離を可能にし得る。

【００１１】

具体的に、窒化ガリウム半導体層は、基板上に複数の脆弱なポストを形成することによって作製してよい。脆弱なポストは、複数のサイドウォールを規定し、基板と脆弱なポスト上のその後に形成される窒化ガリウム半導体層との間の熱膨張率の不一致によってクラックを生じるように設計されている。窒化ガリウム層が融合して窒化ガリウム半導体層を生成するまで、脆弱なポストのサイドウォールから窒化ガリウム層を高温で成長させる。窒化ガリウム層を好ましくはペンデオエピタキシーを使用して成長させて、その結果、窒化ガリウム層が基板から片持ち梁状に突き出るようにする。次に、高温を低下させることで、基板と窒化ガリウム半導体層との間の熱膨張率の不一致によって、脆弱なポストの少なくとも幾つかにクラックを生じる。窒化ガリウム半導体層中の応力をそれによって除去できる。

【００１２】

脆弱なポストは、基板上で間隔を置いて離れた千鳥形の関係にあるポストのアレイを形成することによって形成してよい。ポストを千鳥形にすることで、長い非千鳥形ポストと比較して、その後の破断を促進することができる。他に、ポストは０．５を超える高さ対幅の比を有して、その結果、温度を低下させることで、比較的に細いポストがクラックを促進するようにしてよい。別の選択肢においては、クラックを促進するために、ポストは、高さにかかわらず、好ましくは幅１ミクロン未満、より好ましくは幅２分の１ミクロン未

満である。さらに別の選択肢においては、ポスト脆弱化領域を、ポスト中で基板に隣接させて形成する。特に、埋込領域を基板中に形成してよく、次に基板を選択エッチングして、埋込領域を含むポスト脆弱化領域を含む複数の脆弱なポストを規定してよい。埋込領域は、打込みイオン、好ましくは水素イオンを含んでよく、これはポスト内部で凝集して水素気泡を形成でき、冷却することで気泡はポストを破断することができる。本発明に従って、千鳥形ポスト、細いポスト、及びポスト脆弱化領域の上記に説明した技術の各々を別々にまたは組み合わせて使用して、基板上に脆弱なポストを作製してよいことは理解できよう。

【００１３】

高温を低下させることで、基板と窒化ガリウム半導体層との間の熱膨張率の不一致によって、脆弱なポストの少なくとも幾つかにクラックを生じ、それによって窒化ガリウム半導体層中の応力を除去する。従って、ペンデオエピタキシャル基板は、設計された脆弱なプラットホームの役目をする。窒化ガリウム半導体層全体にわたってクラックを生じる代わりに、クラックは好ましくはポスト中で生じ、実際にポストの幾つかを剪断し、窒化ガリウム半導体層を無傷のままにすることができる。その上、脆弱なポストの全てが、クラックを生じ及び／または剪断され、それによって窒化ガリウム半導体層を基板から分離し、自立形窒化ガリウム半導体層を生成することができる。他に、脆弱なポストは、脆弱化されたポストにおける窒化ガリウム半導体層の基板からの分離を促進して、自立形窒化ガリウム半導体層を生成することができる。次に自立形窒化ガリウム半導体層は、その後に自立形窒化ガリウム半導体層上に窒化ガリウム層をエピタキシャル成長させるための大面積シードの役目をすることができる。

【００１４】

本発明による窒化ガリウム半導体構造は、基板と、複数のサイドウォールを含み基板上にある複数のポストと、隣接するポストのサイドウォールの間に延在する窒化ガリウム半導体層とを含む。ポストの少なくとも１つは、基板と窒化ガリウム層との間でクラックを生じる。複数のポストは、基板上で間隔を置いて離れた千鳥形の関係にあってよい。複数のポストは、０．５を超える高さ対幅の比を有してよい。複数のポストは、幅１ミクロン未満、より好ましくは幅２分の１ミクロン未満としてよい。複数のポストは、その中に基板に隣接したポスト脆弱化領域を含んでよく、ポスト脆弱化領域は、気泡、好ましくは水素気泡をその中に含む。

【００１５】

その上、本発明は、各々０．２５cm^2を超える面積を有し、１０$^5cm^{-2}$未満の欠陥密度を有する第１及び第２の対向する面を有する自立形単結晶窒化ガリウム基板を提供できる。本構造は、面のうちの１つから延在する少なくとも１つのポストを含んでよく、ポストはぎざぎざの形状である。幅２分の１ミクロン未満である、間隔を置いて離れた千鳥形ポスト、気泡ポスト及び／またはポストのアレイを提供できる。また、エピタキシャル窒化ガリウム層を、自立形窒化ガリウム層の第１及び第２の対向する面のうちの１つの上に提供できる。従って、作製後のクラックしやすさの低減を示すことができる窒化ガリウム半導体層及び比較的に大面積の自立形窒化ガリウム層を提供できる。

【００１６】

好適な実施例の詳細な説明

本発明をここから、本発明の好適な実施例を示す添付図面に関連して、下文でより十分に説明する。しかしながら、本発明は、多くの様々な形式で実施してよく、本明細書において説明する実施例に限定されると解釈すべきではなく、逆に、こうした実施例は、本開示が十分かつ完全であり、本発明の範囲を当業者に十分に伝えるように提供される。図面中、層及び領域の厚さは、明瞭にするために誇張してある。同様の番号は、全体にわたって同様の要素を指す。層、領域または基板等の要素が別の要素“上に”あると言及された場合、これは他の要素上に直接に存在することができ、または、介在する要素も存在してよいことは理解できよう。その上、本明細書において説明し、図示する各実施例は、相補形伝導性タイプ（complementary conductivity type）の実施例もまた含む。

【００１７】
ここから図１～６を参照して、本発明の実施例による窒化ガリウム半導体構造を作製する方法を説明する。図１に示すように、所望により中間バッファ層１０３を使用して、下にある窒化ガリウム層１０４を基板１０２上に成長させる。基板は炭化ケイ素としてよい。他に、基板はシリコン基板としてよく、例えば、Methods of Fabricating Gallium Nitride Microelectronic Layers on Silicon Layers and Gallium Nitride Microelectronic Structures Formed Therebyと称する、Linthicum et al.に付与され、＿＿＿＿（Attorney Docket 5051-448）として出願され、本出願の譲受人に譲渡された特許出願第＿＿＿＿号に説明されている通りであり、その開示を、本明細書において参考のために引用する。別の選択肢においては、基板はサファイアとしてよく、例えば、Pendeoepitaxial Methods of Fabricating Gallium Nitride Semiconductor Layers on Sapphire Substrates, and Gallium Nitride Semiconductor Structures Fabricated Therebyと称する、Gehrke et al.に付与され、09/441,753として出願され、本出願の譲受人に譲渡された特許出願第09/441,753号に説明されている通りであり、その開示を、本明細書において参考のためにその全体を引用する。他の基板もまた使用してよい。上記に引用した出願に説明されているように、バッファ層１０３は、窒化アルミニウム、窒化ガリウム及び／または他の材料を含んでよい。所望によりバッファ層１０３を使用して、下にある窒化ガリウム層１０４を基板１０２上に作製することは当業者には周知であり、本明細書において詳細に説明する必要は無い。

【００１８】
ここから図２を参照すると、下にある窒化ガリウム層１０４と、所望によりバッファ層１０３と、また所望により基板１０２の一部分とをエッチングして複数のポスト１０６を作製し、ポストはポスト同士の間に複数のトレンチ１０７を規定する。交互に並ぶポスト１０６及びトレンチ１０７は、ポストの複数のサイドウォール１０５を規定する。間隔を置いて離れたポスト１０６はまた、“メサ”、“ペデスタル”、または“カラム”と呼ばれることがある。トレンチはまた、“ウェル”と呼ばれることがある。サイドウォール１０５を規定するポスト１０６及びトレンチ１０７を、選択エッチング、選択エピタキシャル成長及び／または他の従来の技術によって作製してよいことは理解できよう。その上、サイドウォールは基板１０２に対して直交する必要は無く、むしろ基板１０２に対して斜めでよいことも理解できよう。最後に、サイドウォール１０５を断面で図１に示すが、ポスト１０６及びトレンチ１０７は、直線若しくはＶ形であるかまたは他の形状を有する細長い領域を規定してよいことも理解できよう。

【００１９】
ポスト１０６を“脆弱な”ポストとして作製する。脆弱なポストは、基板１０２と脆弱なポスト上のその後に形成される窒化ガリウム半導体層との間の熱膨張率の不一致によってクラックを生じるように設計されている。図２は、脆弱なポストを提供するためのポストの寸法の制御を示す。１実施例においては、ポスト１０６の高さ対幅の比は０．５を超える。別の実施例においては、ポストは任意の高さを有してよいが、予め定められた幅未満であり、好ましくは１μm未満、より好ましくは０．５μm未満、最も好ましくは０．２５μm未満である。さらに別の実施例においては、ポストの幅及び厚さ（図２の平面の中の方向に）は、それぞれ０．２５μm以下及び１．０μm以下である。こうした細いポストは、電子線フォトリソグラフィまたは他のリソグラフィ技術を使用して作製してよい。

【００２０】
ここから図３を参照すると、窒化ガリウム層１０８を、脆弱なポスト１０６のサイドウォール１０５から高温で成長させる。図３に示すように、窒化ガリウム層１０８は好ましくは、トレンチ１０７の底部から間隔を置いて離れるかまたは片持ち梁状に突き出して、ペンデオエピタキシャル成長を提供する。

【００２１】
図４に示すように、サイドウォール１０５からの窒化ガリウム層１０８の成長を好ましくは、窒化ガリウム層１０８が融合して窒化ガリウム半導体層１１０を生成するまで続ける

。図４に示すように、成長を、脆弱なポスト１０６の頂部の上に続けてよい。サイドウォールからの窒化ガリウムのペンデオエピタキシャル成長は、上記に引用した特許出願及び発表に詳細に説明されており、本明細書において詳細に説明する必要は無い。しかしながら、たとえ下にある窒化ガリウム層が$10^{8}cm^{-2}$以上の欠陥密度を有したとしても、窒化ガリウム半導体層１１０は$10^{5}cm^{-2}$以下の欠陥密度を有することができることに留意されたい。従って、高品質の窒化ガリウム半導体層１１０を提供できる。

【００２２】

また図４に示すように、第１のエピタキシャル窒化ガリウム層１１２を窒化ガリウム半導体層上に形成してよい。窒化ガリウム半導体層１１０は、例えば０．２５cm^{2}以上の大面積でかつ低欠陥密度を有する成長プラットホームを提供するので、第１のエピタキシャル窒化ガリウム層１１２を、水素化物気相エピタキシー（Hydride Vapor Phase Epitaxy）（ＨＶＰＥ）を使用して比較的に大きな速度で成長させてよい。第１のエピタキシャル窒化ガリウム層１１２を好ましくは少なくとも３０μmの厚さに成長させて、自立形窒化ガリウム構造に機械的安定性を提供する。窒化ガリウム半導体層１１０及び第１のエピタキシャル窒化ガリウム層１１２の成長は好ましくは高温で、例えば１０００℃以上で行われる。

【００２３】

次に、図５を参照すると、高い成長温度を好ましくは室温に低下させるために、例えば、成長チャンバのヒーター温度を低下させ、強制冷却を使用し及び／または本構造を成長チャンバから取り出す。好ましくは、１０００℃から室温への冷却は、少なくとも３５分間にわたって、より好ましくは少なくとも１５分間にわたって行われる。図５に示すように、温度を低下させることで、脆弱なポストの少なくとも幾つかに、その中のクラック１１４に示すようにクラックを生じる。例えば、脆弱なポストの少なくとも２５％、より好ましくは少なくとも５０％にクラックを生じる。こうしたクラックはそれによって、基板１０２と脆弱なポスト１０６上の窒化ガリウム半導体層１１０との間の熱膨張率の不一致によって引き起こされた応力を除去する。図５に示すように、クラック１１４は、脆弱なポストの幾つかまたは全てに現れることがある。実際に、脆弱なポストの幾つかまたは全ては、図５の１１５において示すように事実剪断されることがある。脆弱なポストは好ましくは、窒化ガリウム層１０８と基板１０２との間でクラックを生じ及び／または剪断される。しかしながら、脆弱なポストがクラックを生じるかまたは剪断される実際の位置は、脆弱なポスト及び／または他の要因の寸法及び／または組成に依存するかもしれない。従って、脆弱なポストはバッファ層１０３中でクラックを生じるとして示されているが、これに加えて、またはこの代わりに、脆弱なポストの基板部分中で若しくは脆弱なポストの窒化ガリウム部分中でクラックを生じるかもしれない。

【００２４】

このようにして、冷却することで、脆弱なポストは、熱膨張率の不一致から生じた応力を除去する。従って、窒化ガリウム半導体層１１０全体にわたってクラックを生じる代わりに、クラック１１４は脆弱なポスト中で生じ、実際に脆弱なポストの幾つかに剪断を生じることがある。窒化ガリウム半導体層及び／または第１の窒化ガリウムエピタキシャル層１１２は従ってクラックの無いままであり、超小型電子装置の製造のために実用的であり続けることができる。

【００２５】

最後に、図６を参照すると、窒化ガリウム半導体層１１０を脆弱なポストにおいて基板１０２から分離して、自立形窒化ガリウム半導体構造１１６を生成する。図６に示すように、窒化ガリウム構造は好ましくは、層１１０及び／または１１２によって形成されかつ第１及び第２の対向する面並びに$10^{5}cm^{-3}$未満の欠陥密度を有する自立形単結晶窒化ガリウム基板を含む。自立形単結晶窒化ガリウム基板の面は好ましくは、０．２５cm^{2}を超える面積及び少なくとも３０μmの厚さを有する。図６に示すように、ポスト１０６の少なくとも１つの残部１０６ａは、面のうちの１つから延在する。クラック及び／または剪断が原因で、ポストの残部１０６ａはぎざぎざの端部を有することがある。

【００２６】
基板を、標準的な化学的及び／または機械的処理を使用して除去して、自立形窒化ガリウム構造１１６を作製してよいことは理解できよう。低欠陥密度を有する窒化ガリウム構造１１６を次に、低欠陥窒化ガリウムを上にさらに成長させるためのシード基板として使用してよい。従って、第２のエピタキシャル層１１８を、窒化ガリウム半導体層１１０上にまたは第１の窒化ガリウムエピタキシャル層１１２上に形成してよい。自立形低欠陥窒化ガリウム構造１１６のサイズは、最初の基板プラットホーム１０２のサイズによってのみ限定される。従って、大面積の自立形窒化ガリウム基板を提供できる。
【００２７】
図７は、本発明による、脆弱なポストの他の実施例の平面図である。基板１０２上に連続ポストの長い列を形成するのではなく、図７に示すように、千鳥形ポスト１０６のアレイを形成することによってポストを脆弱化してよい。図１～６の細いポストを設ける代わりに、またはこれに加えて、千鳥形にできることは当業者には理解できよう。
【００２８】
図８は、さらなる他の実施例の平面図であり、千鳥形ポスト１０６’は、その端部に先端部８０２を含む。先端部８０２は、ここからのペンデオエピタキシャル成長の最中の応力を低減できる。
【００２９】
図９～１４は、本発明による他の実施例を示す。全体的に、図９～１４は、ポスト脆弱化領域を、ポスト中で基板に隣接させて、好ましくは水素イオン等のイオンをポスト内に打込むことで形成することを示す。水素は凝集して気泡を形成し、次に冷却することで気泡はポスト脆弱化領域にクラックを生じることができる。ウェーハボンディング及び／またはウェーハ分割を促進するための表面内へのイオンの打込みは、例えば、SOI Fabrication Methodと称するKenneyに付与された米国特許第5,710,057号、及び、Method for the Transfer of Thin Layers of Monocrystalline Material to a Desirable Substrateと称するGoesele et al.に付与された米国特許第5,877,070号に説明されている。しかしながら、様々なイオンの打込み、ポストの区域の選択エッチング及び／または他の技術を含むポストを脆弱化する他の方法を使用して、ポスト脆弱化領域をポスト中に形成してよいことは理解できよう。
【００３０】
具体的に、ここから図９を参照すると、中間バッファ層１０３を含め、下にある窒化ガリウム層１０４を基板１０２上に形成し、これは図１に関連して上記に説明した通りである。しかしながら、図９においては、イオン９０２、好ましくは水素イオンを基板１０２内に打込む。イオンは、従来の技術を使用して基板１０２内に打込んでよい。また図９に示すように、所望により第１のマスク９０４を、バッファ層１０３と反対側の、下にある窒化ガリウム層１０４上に形成する。下記に説明するように、このマスクは、ペンデオエピタキシーの最中のポストの頂部からの窒化ガリウムの核生成及び成長を低減し、好ましくは防ぐことができる。
【００３１】
次に、図１０を参照すると、脆弱なポストを形成するために、マスク９０４を通し、少なくとも部分的に窒化ガリウム層１０４を通し、所望により少なくとも部分的にバッファ層１０３を通し、所望により少なくとも部分的に基板１０２を通してエッチングする。図に示すように、第１のマスク９０４はポスト１０６上にキャップ９０４’を形成する。また図１０に示すように、所望により第２のマスク９０８はトレンチ１０７の底部を形成してよい。第２のマスク９０８は、ペンデオエピタキシーの最中のトレンチ底部からの窒化ガリウムの核生成及び成長を低減し、好ましくは防ぐことができる。マスク９０４’及び９０８を同時に形成してよく、好ましくは、二酸化ケイ素、窒化ケイ素及び／または金属等の同じ材料を含むことは理解できよう。しかしながら、これらは別々に形成してよく、異なる材料を含んでよい。
【００３２】

例えば、二酸化ケイ素、窒化ケイ素及び／または金属の例えばタングステン等のマスク材料の熱蒸着または電子ビーム蒸着等のラインオブサイト（line-of-sight）堆積技術を使用してよい。エッチング工程後にマスク材料を堆積させる場合、これは、垂直な表面、すなわちポスト１０６の上面及びトレンチ１０７の底面（底部）のみを被覆する。窒化ガリウムは好ましくは、マスク９０４’上及び９０８上で核生成したとしてもごくわずかにすぎず、その結果、窒化ガリウムは好ましくは、ペンデオエピタキシーの最中にポストのサイドウォール１０５のみから成長する。他に、マスク９０４’及び９０８は異なる材料を含んでよく及び／または異なる厚さを有してよい。マスクの片方または両方は形成する必要は無く、マスクの片方または両方はまた、図１～８の実施例において使用してよいことも理解できよう。

【００３３】

図１０に示すように、各ポストは、イオン注入工程によって形成された脆弱化された領域９０２’を有する。脆弱化された領域９０２’は基板１０２中に示されているが、これに加えて、またはこの代わりに、ポスト１０６を形成するバッファ層１０３中及び／または窒化ガリウム層１０４中に存在してよい。

【００３４】

ここから図１１を参照すると、ペンデオエピタキシーを実行し、これは図３に関連して説明した通りである。窒化ガリウム層を、隙間を残さないようにサイドウォールから直接にマスク９０８上に成長させてよいことも理解できよう。次に、図１２に示すように、窒化ガリウム半導体層１１０及び所望により第１のエピタキシャル層１１２を形成し、これは図４に関連して上記に説明した通りである。

【００３５】

ここから図１３を参照すると、窒化ガリウム半導体層１１０及び所望によりエピタキシャル窒化ガリウム層１１２を形成する際に使用した高温を次に低下させる。次いで脆弱なポスト１０６の脆弱化された区域９０２’は、その中の気泡の存在によってクラックを生じて、窒化ガリウム半導体層１１０中の応力を除去する。

【００３６】

図１３に示すように、好ましくはポスト１０６の全てが、ポスト脆弱化領域９０２’においてクラックを生じ及び／または剪断され、というのは、図９において、打込み層９０２には、基板内に均一に打込んだからである。他に、例えば基板１０２内へのイオンの選択打込みによって、ポストの幾つかのみを脆弱化するかまたは剪断してよい。

【００３７】

最後に、図１４を参照すると、基板１０２を窒化ガリウム層から分離して、自立形窒化ガリウム半導体構造１１６を生成し、これは図６に関連して説明した通りである。図６の場合と同様に、１つ以上のポスト１０６ａは本構造の面のうちの１つから延在してよい。図１４におけるポストは、打込みの結果が原因で、ぎざぎざではなく平滑となるかもしれない。

【００３８】

ポスト脆弱化領域９０２”を、図１～６の細いポスト及び／または図７及び８の千鳥形ポストと組み合わせて、またはこの代わりに使用してよいことも理解できよう。従って、好ましくは０．２５cm^2を超える大面積でかつ好ましくは表面全体にわたって$10^5 cm^{-2}$未満の低欠陥密度を有する窒化ガリウム半導体基板を作製できる。自立形低欠陥密度窒化ガリウム半導体層の面積は、処理を支持するために使用した最初の基板プラットホームのサイズによってのみ限定される。

【００３９】

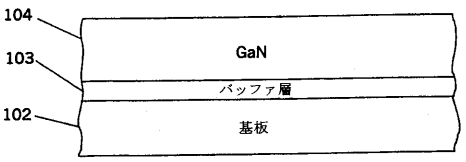
図面及び明細書において、本発明の代表的な好適な実施例を開示してきた。特定の用語を用いたが、これは、一般的でかつ説明のための意味でのみ使用したものであり、限定のためではなく、本発明の範囲は、請求の範囲において説明される。

【図面の簡単な説明】

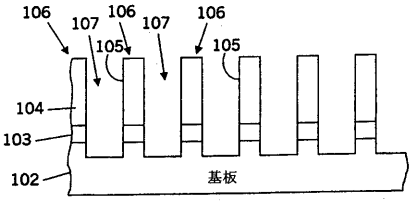
【図１】　本発明による、中間作製工程の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。

【図２】　本発明による、中間作製工程の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図３】　本発明による、中間作製工程の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図４】　本発明による、中間作製工程の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図５】　本発明による、中間作製工程の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図６】　本発明による、中間作製工程の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図７】　本発明による、脆弱なポストの他の実施例の平面図である。
【図８】　本発明による、脆弱なポストの他の実施例の平面図である。
【図９】　本発明による、中間作製工程の他の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図１０】　本発明による、中間作製工程の他の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図１１】　本発明による、中間作製工程の他の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図１２】　本発明による、中間作製工程の他の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図１３】　本発明による、中間作製工程の他の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。
【図１４】　本発明による、中間作製工程の他の窒化ガリウム半導体構造の断面図である。

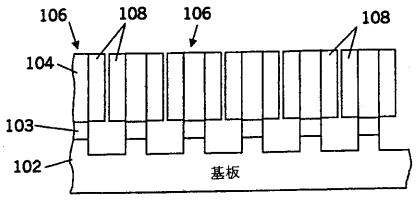
【図１】



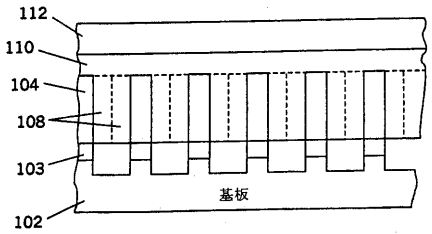
【図２】



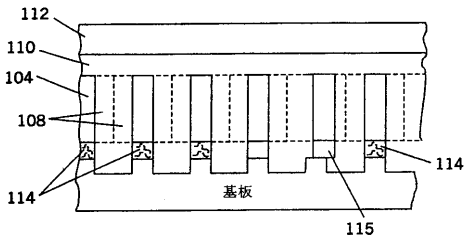
【図３】



【図４】

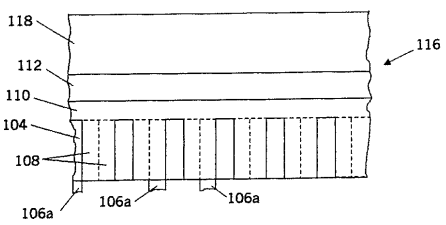


【図５】



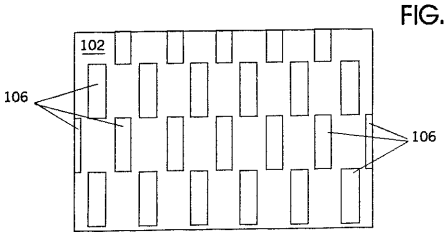
【図６】

FIG. 6



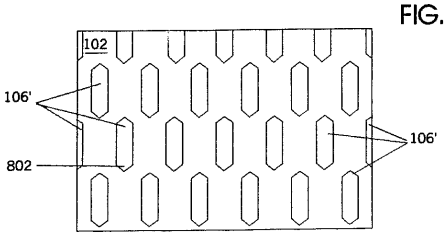
【図７】

FIG. 7

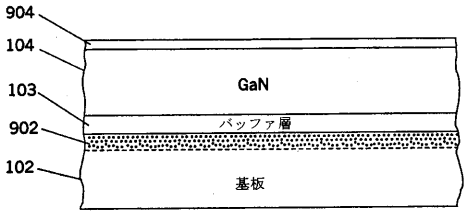


【図８】

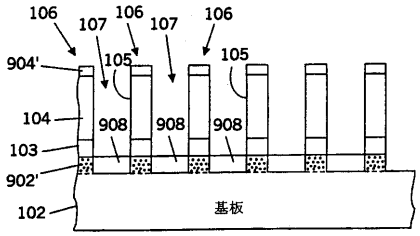
FIG. 8



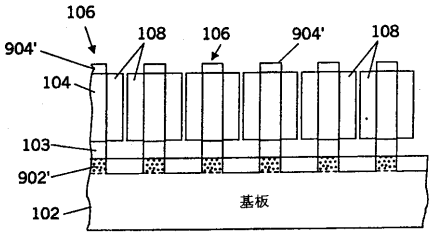
【図９】



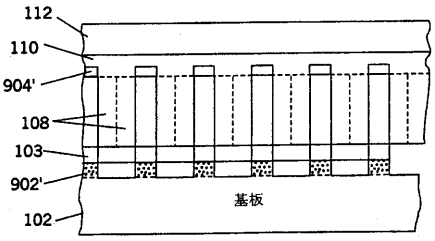
【図１０】



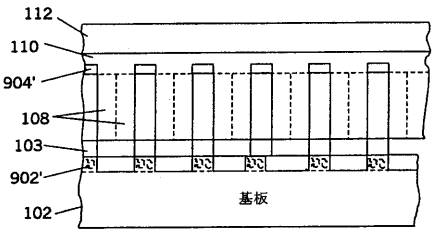
【図１１】



【図１２】

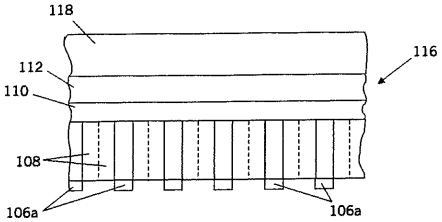


【図１３】



【図１４】

FIG. 14



フロントページの続き

(74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
(74)代理人 100077506
弁理士 戸水 辰男
(72)発明者 リンティカム，ケビン・ジェイ
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州２７５０１，アンギアー，クロスリンク・ドライブ ４７４
(72)発明者 ゲールク，トーマス
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州２７５１０，カーボロ，ビム・ストリート １１６ビー
(72)発明者 デービス，ロバート・エフ
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州２７６１２，ローリー，カルトン・ドライブ ５７０５

審査官 山本 雄一

(56)参考文献 国際公開第９９／０６５０６８（WO，Ａ１）
特開平１１－３１２８２５（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１７６８１３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 21/205
H01L 21/31
C23C 16/00-16/56