

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760244

研究課題名（和文）

Si-MEMS 構造とモノリシックに集積した窒化物光電子デバイスの製作と特性

研究課題名（英文）

Study of the fabrication and properties of the integration between Si-MEMS structure and nitride electronic and photonic devices

研究代表者

胡 芳仁 (HU FANGREN)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50396545

研究成果の概要（和文）：

MBE 成長方法でシリコンマイクロ構造、平らなシリコン表面またはシリコン MEMS 構造の上にナノコラム構造を持つ窒化物量子井戸、量子ドット、LED 構造を成長した。ナノコラムの構造で、高い量子効率と強い発光を観測することができた。そのほか、本研究では、AlGaIn/GaN 構造の圧電性、耐高温性を利用し、高温環境（300℃以上）などでも動作する圧力センサを目標として圧力センサを製作、評価した。製作したトランジスタの圧力に対する特性を測定できた。

研究成果の概要（英文）：

Nitride semiconductor quantum-well, quantum dots and light-emitting diode structure were deposited on the flat Si, Si microstructure and Si-MEMS structure. High quantum efficiency and high emission were observed. Also, AlGaIn/GaN HEMT was fabricated and typical transistor I/V property was obtained. Furthermore, micro pressure transducer was fabricated with the AlGaIn/GaN HEMT by Si-micromachining process and the related properties were evaluated. The characteristics of the fabricated transistors were measured.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード：GaN, 結晶成長, Si, センサ, 微細加工

1. 研究開始当初の背景

窒化ガリウム半導体デバイスは世界で多く研究されている。この中に、窒化ガリウム系発光ダイオード (LED) , レーザダイオード (LD) は実用化・産業化されている。光マイクロマシンには波長可変レーザ・フィルター, 可変光減衰器, プログラマブル光マルチプレクサー, 光スイッチ, 波長分割マルチプレクサー, 集積された光学素子, 分散補償器などが含まれる。通信と情報科学の発展に伴い, 光マイクロマシンが広く研究されつつある。しかし, 今までの光マイクロマシンは同じのシリコンウエハに光源が集積されず実用に制限がある。例えば, シリコン MEMS アクチュエータ上に InGaN/GaN LED 格子から作られた波長可変レーザ, こういふ集積が世界で新たに研究されている。一方, AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタ (HEMT: high electron mobility transistors) は様々なセンサーとして実用できるので注目されている。AlGaIn/GaN HEMT は圧電効果, 2次元電子ガスとシリコン MEMS 構造の集積は伝統のセンサーの効能性, 感度を高め, 小型集積化かつ高操作コントロール性のセンサー応用に期待できる。

2. 研究の目的

Si のマイクロ電気機械システム (MEMS) と集積して窒化物電子デバイスおよびフォトニックデバイスを製作す

る。まず MEMS 加工を施した Si 基板を製作した。製作した構造は, 自立シリコン格子構造, 2次元サブミクロン周期ピットアレイ構造などである。製作した Si 基板に対して, MBE による GaN 結晶および GaN 量子井戸, 量子ドット, LED 構造を成長する。また応用としてセンサを試作する。Si 基板を加工して圧力センサおよび回転角センサを試作する。

3. 研究の方法

MBE 方法でシリコン基板上に GaN 結晶を成長する; まず MEMS 加工を施した Si 基板を製作した。製作した構造は, 自立シリコン格子構造, 2次元サブミクロン周期ピットアレイ構造などである。製作した Si 基板に対して, MBE による GaN 結晶および GaN 量子井戸, 量子ドット, LED 構造を成長する。

シリコンマイクロマシン技術で MEMS 構造を製作し, センサーデバイスを製作する。さらに Si 基板を加工して圧力センサおよび回転角センサを試作している。Ni/Au 電極を形成し, HEMT の電圧電流特性を測定した。これによりトランジスタの動作を確認できた。これらの結果に基づいて, HEMT を配置したそれらのセンサを設計した。Si 基板の深堀エッチングにより, 圧力キャビティおよび回転ミラーを製作できることを確かめた。

4. 研究成果

MBE 成長方法でシリコンマイクロ構造、平らなシリコン表面またはシリコン MEMS 構造の上にナノコラム構造を持つ窒化物量子井戸、量子ドット、LED 構造を成長した。成長したナノコラム量子井戸構造のフォトルミネッセンスを室温および低温下で測定した。これらの結果、シリコン基板にマイクロ加工を施した場合において、構造に依存して、高い結晶性が得られることが確認できた。特にシリコンのサブミクロン直径のホールの場合に、横方向成長が促進されて、6 角錐形状の結晶性のよい結晶を成長できることを見出した。また、シリコン基板上に MOCVD で結晶成長した GaN テンプレートにマイクロ加工を施して、MBE により GaN 系量子井戸を成長する実験では、シリコン基板をマイクロ加工により取り除くことで、メンブレンやメッシュ構造の GaN 自立膜構造を実現できた。これにより、光閉じ込め効果の高いスラブ構造の発光素子を実現することができた。

そのほか、本研究では、AlGaIn/GaN 構造の圧電性、耐高温性を利用し、高温環境（300°C以上）などでも動作する圧力センサを目標として圧力センサを製作、評価した。圧力センサの構造はシリコン基板上に GaN 結晶を成長した構造で、シリコン基板をマイクロマシニング技術によりエッチングし、薄膜のダイアフラム構造を製作する。ダイアフラムに加わる圧力により、上部の GaN 層に引っ張る応力が発生する。GaN 層上部には AlGaIn/GaN の境界層に発生する 2 次元電子ガスを利用した電界効果トランジスタを形成した。トランジスタに応力が加わると AlGaIn/GaN の圧電性により 2 次元電子ガス

の作用に変化が生じる。印加圧力を変えて、製作したトランジスタの電圧電流特性を測定した。電極の形成条件やサイズを変えて測定を行った。また電極のアニール条件がトランジスタの特性に与える影響について詳しく調べた。また静電容量の変化を測定する方法も試みた。これらの実験の結果、製作したトランジスタとシリコンの立体構造により、圧力測定が十分行えることが確認できた。

以上の結果をまとめて、科学誌論文 10 件以上を掲載できた。修士学生 1 名を指導した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件) すべて査読有

1. Y. J. Wang, T. Wu, F. R. Hu, Y. Kanamori, H. B. Zhu and K. Hane, III-Nitride grating grown on freestanding HfO₂ gratings, *Nanoscale Research Letters*, 2011, **6**, 497
2. Y. J. Wang, T. Sasaki, T. Wu, F. R. Hu and K. Hane, Comb-drive GaN micro-mirror on a GaN-on-silicon platform, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 21(3), 035012, 2011
3. Y. J. Wang, F. R. Hu and K. Hane, Lateral epitaxial overgrowth of GaN on a patterned GaN-on-silicon substrate by molecular beam epitaxy, *Semiconductor Science and Technology*, Vol. 26(4), 045015, 2011
4. Y. J. Wang, F. R. Hu and K. Hane, Patterned growth of InGaIn/GaN quantum wells on

- freestanding GaN grating by molecular beam epitaxy, *Nanoscale Research Letters*, Vol. 6(1), 117, 2011
5. Y. J. Wang, F. R. Hu, Y. Kanamori, H. Sameshima and K. Hane, Fabrication and characterization of subwavelength nanostructures on freestanding GaN slab, *Optics Express*, 18(3), 2010, 2940-2945
 6. Y. J. Wang, F. R. Hu, H. Sameshima and K. Hane, Fabrication and characterization of freestanding circular GaN gratings, *Optics Express*, Vol. 18(2), 773-779, 2010
 7. Y. J. Wang, F. R. Hu and K. Hane, Freestanding GaN slab fabricated on patterned silicon on an insulator substrate, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 20(2), 027001, 2010
 8. Y. J. Wang, F. R. Hu, Y. Kanamori, T. Wu and K. Hane, Large area, freestanding GaN nanocolumn membrane with bottom subwavelength nanostructure, *Optics Express*, Vol. 18(6), 5504-5511, 2010
 9. Y. J. Wang, F. R. Hu, M. Wakui and K. Hane, Freestanding circular GaN grating fabricated by fast-atom beam etching, *Applied Physics A-Materials Sciences & Processing*, Vol. 97, 1, 39-43, 2009
 10. Y. J. Wang, F. R. Hu, M. Wakui and K. Hane, Freestanding GaN Resonant Gratings at Telecommunication Range, *IEEE Photonics Technology Letters* Vol. 21, 17, 1184-1186, 2009
 11. F. R. Hu, H. Sameshima, M. Wakui, R. Ito and K. Hane, GaN-based nitride

semiconductor films deposited on nitrified HfO₂/Si substrate by molecular beam epitaxy, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 311, 10, 2996-2999, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

胡 芳仁 (HU HANGREN)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 50396545

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :