

研究種目：基盤研究 (S)
研究期間：2007～2011
課題番号：19106007
研究課題名 (和文) 窒化物半導体とシリコンのモノリシック集積による光マイクロシステムの研究
研究課題名 (英文) Study of optical micro systems by monolithic integration of silicon with nitride semiconductor
研究代表者
羽根 一博 (HANE KAZUHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：50164893

研究代表者の専門分野：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：光デバイス、集積化、MEMS

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、シリコンの立体構造およびマイクロアクチュエータと GaN 系光源デバイスをモノリシックに集積することで、高機能で集積度の高い光応用のマイクロシステム(MEMS：マイクロ電気機械システム)を実現することである。

具体的には次の4点である。(1)平面 Si 基板へ GaN 半導体を成長後、MEMS 加工を施す手法の確立、(2)Si 基板に MEMS 基本構造を加工後に GaN 半導体結晶を成長し、デバイスを製作する方法の確立。(3)GaN 半導体の MEMS 加工法の開発。(4)具体的な GaN-Si 複合光 MEMS として、照明方向を制御できる配光光源、バイオ分析用集積型マイクロ分光システム、光スキャナー、波長可変レーザ、光インターコネクションなどを研究する

2. 研究の進捗状況

Si 基板に MBE を用いて GaN 系半導体をバッファ層を用いて直接に結晶成長した。MBE を用いる場合、ナノコラム状の結晶が成長しやすいが、これを成長して、コラムの隙間を SOG により埋めて、電極を形成し、発光ダイオード (LED) を試作し、電流駆動による青色発光を確認できた。

平坦な GaN 結晶の成長を目指し、MOCVD により GaN 結晶をあらかじめ成長した Si 基板をテンプレートに用いて、その後に GaN 結晶を MBE により成長する方法も実施した。これにより、平坦な GaN 結晶が得られ、電流駆動による LED を実現した。

これらの GaN/Si ウエハを用いて、MEMS 加工を実施した。Si の深堀エッチングを用い

ることで高い選択性が得られることを明らかにした。反応性イオンエッチング装置を改良し、塩素による GaN エッチングを可能にした。

これらのエッチングとガラスの接合技術など組み合わせ、配光を制御できるデバイスを試作した。試作した GaNLED を用いて、Si くし型アクチュエータをモノリシックに製作し、ガラスマイクロレンズも集積したデバイスを完成でき、基本動作を確認した。また、別のモノリシックデバイスとして、Si 基板にマイクロ流路を備えた GaNLED を試作した。

MEMS 加工を施した Si 基板に、GaN 結晶を成長する実験も行った。特異な結晶成長特性を見出した。また Si で製作したマイクロアクチュエータの上に MBE より GaN 結晶を成長した。Si 表面を覆うように結晶が成長できた。これにより、可変のフォトニック構造を試作できる端緒を得た。

具体的な GaN-Si 複合光 MEMS として、先に述べたように照明方向を制御できる配光光源を試作した。バイオ分析用集積型マイクロ分光システムについては、Si 光検出器とポリマー流路、GaNLED 光源の集積を行うが、現在、試作中である。また新しい構造の波長可変レーザを試みるために、加工方法、デバイス設計、試作及び実験を行っている。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

(理由)

提案の基本部分を達成でき、試作の主要部分を試みることができた。

4. 今後の研究の推進方策

- (1) MBE による結晶成長法を改善するとともに、今後、MOCVD により GaN を成長した Si ウエハも利用して発光効率を上げ、実用性の高い GaN-Si 複合光 MEMS を実現する。
- (2) GaN 及び GaN/Si の MEMS 加工を改善し、接合など高度な加工方法を開発する。
- (3) 提案した GaN-Si 複合光 MEMS の改良と未組み込みのデバイスへ展開を行う。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計 32 件) すべて査読あり

- 1) R. Ito, M. Wakui, H. Sameshima, F. Hu, K. Hane, “Monolithic-fabrication of Si micro-electro-mechanical structure with GaN light-emitting diode,” *Microsystem Technologies* 16 (2010) in press
- 2) Y. Wang, F. Hu, Y. Kanamori, T. Wu, K. Hane, “Large area, freestanding GaN nanocolumn membrane with bottom subwavelength nanostructure,” *Optics Express* 18(6) 5504-5511 (2010)
- 3) Y. Wang, F. Hu, Y. Kanamori, H. Sameshima, K. Hane, “Fabrication and characterization of subwavelength nanostructures on freestanding GaN slab,” *Optics Express* 18(3) 2940-2945 (2010)
- 4) Y. Wang, F. Hu, K. Hane, “Freestanding GaN slab fabricated on patterned silicon on an insulator substrate,” *Journal of Micromechanics and Microengineering* 20(2) 027001(5pp) (2010)
- 5) M. Wakui, F. Hu, H. Sameshima, K. Hane, “Growth of GaN LED Structure on Si Substrate by MBE and Monolithic Fabrication of GaN LED Cooling System,” *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering* 5(2) 171-174 (2010)
- 6) Y. Wang, F. Hu, H. Sameshima, K. Hane, “Fabrication and characterization of freestanding circular GaN grating,” *Optics Express* 18(2) 773-779 (2010)
- 7) Y. Wang, F. Hu, M. Wakui, K. Hane, “Freestanding GaN resonant gratings at telecommunication range,” *IEEE Photonics Technology Letters* 21(17) 1184-1186 (2009)
- 8) M. Wakui, R. Ito, F. Hu, H. Sameshima, K. Hane, “MBE Fabrication of GaN-Based Light Emitting Diode on MOCVD Grown GaN-on-Si Template and Application for Optical MEMS,” *電気学会論文誌 E* 129(3) 77-80 (2009)
- 9) F. Hu, H. Sameshima, M. Wakui, R. Ito, K. Hane, “GaN-based nitride semiconductor films deposited on nitrified HfO₂/Si substrate by molecular beam epitaxy,” *Journal of Crystal Growth* 311 2996-2999 (2009)
- 10) H. Sameshima, M. Wakui, F. Hu, K. Hane, “A Freestanding GaN/HfO₂ Membrane Grown by

Molecular Beam Epitaxy for GaN-Si Hybrid MEMS,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 15(5) 1332-1337 (2009)

- 11) F. Hu, R. Ito, Y. Zhao, K. Hane, “GaN-Si-MEMS structure fabricated from nano-column GaN quantum well crystal grown on Si substrate,” *physica status solidi (C)* 5(6) 1941-1943 (2008)

- 12) F. Hu, Y. Kanamori, K. Ochi, Y. Zhao, M. Wakui, K. Hane, “A 100 nm thick InGa_{0.15}N/GaN multiple quantum-well column-crystallized thin film deposited on Si(111) substrate and its micromachining,” *Nanotechnology* 19(3) 035305(6pp) (2007)

- 13) F. Hu, K. Ochi, Y. Zhao, K. Hane, “Nanocolumn InGa_{0.15}N/GaN quantum-well crystals on flat and pillared Si substrates with nitrified Ga as a buffer layer,” *Nanotechnology* 18(27) 275605(6pp) (2007)

- 14) F. Hu, K. Ochi, Y. Zhao, K. Hane, “InGa_{0.15}N/GaN quantum-well nanocolumn crystals on pillared Si substrate with InN as interlayer,” *phys. stat. sol.* 4(7) 2338-2341 (2007)

〔学会発表〕(計 42 件)

- 1) F. Hu, M. Wakui, H. Sameshima, R. Ito, K. Hane, “Monolithically integration of GaN light-emitting diode and Si substrate with AlN/GaN superlattice and interlayer,” 2009 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conf. Micromechatronics for Information and Precision Equipment, Tsukuba, Japan, HCH-05, pp. 347-348 (Jun. 20, 2009)

- 2) M. Wakui, R. Ito, H. Sameshima, F. Hu, K. Hane, “GaN-LED grown on Si substrate by MBE/MOCVD and monolithic fabrication of a light distribution variable device,” The 15th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, Denver, U.S.A. pp. 1349-1352 (Jun. 23, 2009)

- 3) M. Wakui, F. Hu, H. Sameshima, K. Hane, Monolithic fabrication of GaN LEDs on Si wafer and GaN membrane structure for cooling system, “Proc. Power MEMS 2008+microEMS2008, Sendai, Japan, pp. 217-220, (Nov. 10, 2008)

〔図書〕(計 7 件)

- 1) K. Hane, M. Sasaki, “Comprehensive Microsystems,” Elsevier, “Micro-Mirrors”, pp. 1-63 (2008)

〔その他〕ホームページ

<http://www.hane.mech.tohoku.ac.jp>