

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

Study of optical micro systems by monolithic integration
of silicon with nitride semiconductor

羽根 一博 (HANE KAZUHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

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。

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 : 光デバイス・集積化, MEMS

1. 研究開始当初の背景

MEMS はマイクロセンサやマイクロ集積デバイスの分野において広く発展している。特に光応用の MEMS においては、レーザディスプレイ、バイオ用蛍光分析チップ、環境モニター光センサなど、光集積デバイスへの展開が期待されている。また光通信用コンポーネントへの応用については、すでに高度なレベルに達している。しかしトータルなマイクロ光システムを実現する上で欠かせない問題は光源の搭載である。多くの応用で、光源は外部に設置するか、後付けで基板上に搭載される。GaN 系半導体は Al, In との混晶により、紫外から赤外まで広い範囲において連続に波長を選択できる可能性がある。また GaN 系半導体は他の光源用半導体材料に比較して、異種基板においても優れた半導体特性が得られている。Si 上 GaN 半導体から発光ダイオードを製作する研究においても優れた特性が得られている。

2. 研究の目的

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。

3. 研究の方法

- (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) Ga 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。

4. これまでの成果

Si 基板に MBE により GaN 系半導体をバッファ層を用いて結晶成長した。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。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(図 1)。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。

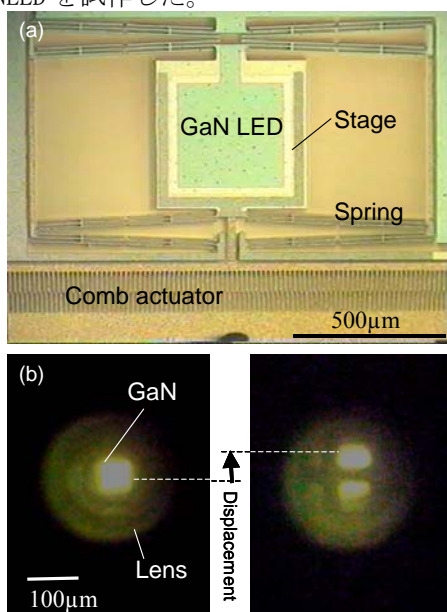


図 1: (a)製作した光分布可変デバイスと(b)発光部の移動

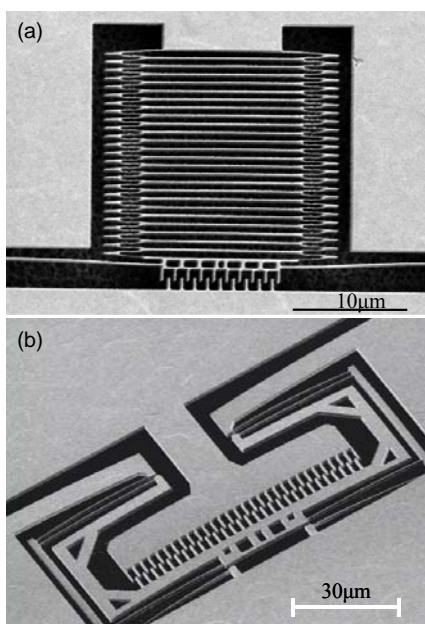


図 2: GaN 可変格子と GaN マイクロアクチュエータ

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、GaN-LED 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(図 2)。

5. 今後の計画

- (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。

6. これまでの発表論文等

- 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 (online: DOI:10.1007/s00542-010-1079-8) (2010)
- 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) 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," *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering* 5(2) 171-174 (2010)
- 4) 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)
- 5) 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)

ホームページ等

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