

六角形状 GaN マイクロディスクに発現する ウィスパーリングギャラリーモードによる 水中での微小体検出

光野 徹也*

**Minute object detection technique in the water
by optical microcavity based on whispering gallery mode in hexagonal GaN microdisk**

Tetsuya Kouno*

Minute object detection in the water was demonstrated using an optical microcavity based on the whispering gallery mode (WGM) in a hexagonal GaN microdisk. Using room temperature photoluminescence measurement, the lasing action based on the WGM in the microdisk in the water was observed. The lasing action was also obtained from the microdisk in the water with SiO₂ particles whose diameter and refractive index are approximately 1.0 μm and 1.45. Then, the shift in the lasing wavelength was observed, and the shift was based on what the WGM in the microdisk were interfered by the SiO₂ particles in the water. Thus, we can obtain signals for the minute object detection as the shift, indicating that such microdisk can be potentially used for transducers of the optical biosensors.

1. はじめに

近年のバイオサイエンスの進展により、超微量分析、迅速、低コスト、そしてリアルモニタリング可能なバイオセンシング技術が求められている。高性能バイオセンサーの創出に向けて、バイオセンサーを構成する各技術（識別子：分子やウイルス、細菌などの測定したい対象と反応する酵素や抗体などの特異的な分子識別機能を有する生体関連物質、識別子をトランスデューサーに固定する技術、そしてトランスデューサー：分子識別素子における分子識別の結果生じる変化を検出し測定可能な信号に変換する技術等）の研究開発が進められている。このトランスデューサーには電極や電界効果トランジスタなどの電気化学的手法がこれまで応用されてきたが、近年のナノ・マイクロフォトニクス現象の研究進展に伴い、超高感度かつその応答時間は極限的に速いことが期待される光導波路、フォトニッククリスタル、局在プラズモン、そしてウィスパーリングギャラリーモード(WGM)などをトランスデューサーへと応用する研究が進められている。我々は、これらの中でもシンプルな形状でかつ極微細検出素子を実現できる WGM に注目してきた。

これらナノ・マイクロフォトニクスをベースとするトランスデューサーでは、検出対象によってこのトランスデューサー周囲の屈折率（誘電率）が変化することによりこのトランスデューサーを伝搬する光の挙動（光の波長など）が変化することを検出の基礎原理としている。従って、トランスデューサー周囲と検出対象の屈折率差が小さい場合でもその機能を発揮することが求められる。生体関連物質の屈折率は概ね 1.5 であり、屈折率が 1.0 である空気（真空）中で動作させるような場合は比較的その屈折率差は大きい、多くの場合バイオセンシングは血液中や生理食塩水中など一定の環境下で対象とする分子やウイルスを検出することが求められる。ここで、血液の液性成分である血漿の 90%を占める水分の屈折率は紫外域から可視域で概ね 1.35 であり、このような環境下では生体関連物質との屈折率差は小さくなる。そこで、本研究では、直径がおおよそ 3 μm 程度かつ厚さ 200 nm 程度の六角形状の窒化物半導体 GaN マイクロディスク結晶内で発現する WGM のバイオセンサーにおけるトランスデューサーへの応用可能性を水中という環境下で検討した。

2015年3月15日 受理

* 豊田理研スカラー

（静岡大学工学部電子物質科学科）

2. 実験と結果

図 1(a)に評価した六角形状 GaN マイクロディスクを示す。このマイクロディスクは分子線エピタキシー法により作製され、その形状の典型値は一辺の長さがおよそ $1.5 \mu\text{m}$ であり厚さ 200 nm であり直径 $300\text{-}500 \text{ nm}$ 程度のナノ支柱 GaN 結晶により支えられている [1]。このマイクロディスクを水中に配置し、水中に直径 $1 \mu\text{m}$ 程度の SiO_2 の微小球を混入させる前後での光共振モードの変化を室温フォトルミネッセンス (RT-PL) により観察した。 SiO_2 の屈折率は概ね 1.45 であるため、生体関連物質と模擬体として SiO_2 の微小球を採用した。水中では、この六角形状 GaN マイクロディスクでは図 1(b)に示す WGM が微小光共振モードとして機能する。この WGM では共振する光が各辺の側面で全反射を繰り返し周回する [1, 2]。RT-PL は顕微鏡観察下で行い図 1(a)に示すマイクロディスクのみの RT-PL スペクトルのみを観察した。強励起用の光源として窒素パルスレーザー (337.1 nm , 900 ps , 10 Hz) を用いた。図 2(a)にマイクロディスクの周囲に SiO_2 の微小球が漂っている様子を示した顕微鏡像を示す。マイクロディスクを水中に配置した場合の RT-PL スペクトルと水中に直径 $1 \mu\text{m}$ 程度の SiO_2 の微小球を混入したときのある瞬間の RT-PL スペクトルを図 2(b)に示す。これより SiO_2 の微小球が水に混入した場合に、光微小共振モードによると考えられるシャープなピークが長波長側へとシフトすることを確認した。これは WGM における六角形状 GaN マイクロディスク側面での全反射によって生じるエバネッセント成分におけるマイクロディスク外への侵入長がある瞬間にマイクロディスク SiO_2 の微小球の存在により増大したためと考えられる。従って、六角形状 GaN マイクロディスク内の WGM は水中における SiO_2 の微小球の存在を共振波長の変化として信号に変換する機能があることを実証したと考えられる。

3. まとめ

六角形状 GaN マイクロディスク内で発現する WGM 微小光共振機構により水中において微小体を検出できることを実証した。これは、このようなマイクロディスクをバイオセンサーのトランスデューサーとして用いれば血液中でウイルスや細菌といった微小体を検出できる可能性を示唆している。

REFERENCES

- (1) Tetsuya Kouno, Katsumi Kishino, and Masaru Sakai, "Lasing Action on Whispering Gallery Mode of Self-Organized GaN Hexagonal Microdisk Crystal Fabricated by RF-Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxy," *IEEE J. Quant. Electron.*, 47 (2011) 1565-1570.
- (2) Tetsuya Kouno, Masaru Sakai, Katsumi Kishino, and Kazuhiko Hara, "Optical microresonant modes acting in thin hexagonal GaN microdisk," *Japanese Journal of Applied physics*, 53 (2014) 072001.

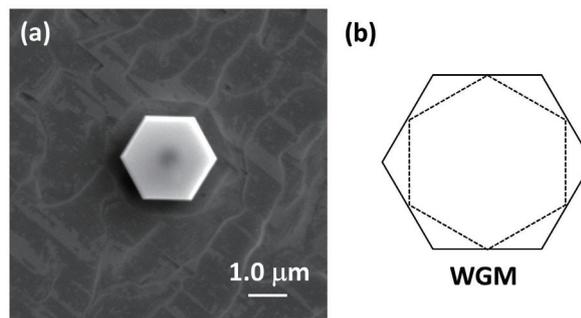


図 1. (a) 本実験で用いた六角形状 GaN マイクロディスクの表面電子線顕微鏡像。(b) 六角形状 GaN マイクロディスク内で WGM により共振する光の光線パス。

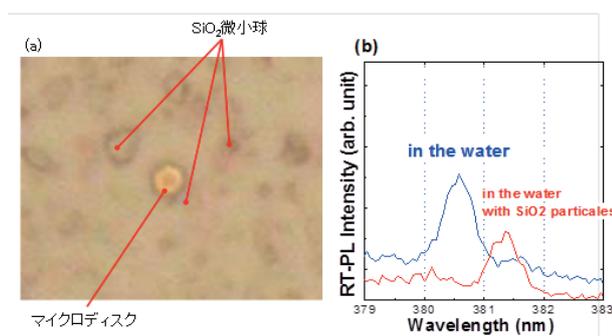


図 2. (a) 六角形状 GaN マイクロディスクを水中に置き SiO_2 微小球を混入させたときの光学顕微鏡像。(b) 水中及び水中に SiO_2 微小球が混入した場合における六角形状 GaN マイクロディスクから得られた室温光励起発振スペクトル。