

# 機械的共振を用いた MEMS 波長可変 VCSEL の広帯域掃引・低駆動電圧動作

Wide Wavelength Sweep & Low Voltage Operation of MEMS Tunable VCSEL Employing Mechanical Resonance

○中瀨 正統<sup>1</sup>, 井上 俊也<sup>1</sup>, 松谷 晃宏<sup>2</sup>, 坂口 孝浩<sup>1</sup>, 小山 二三夫<sup>1</sup>

東工大 1=未来研, 2=技術部マイクロプロセス部門

1=FIRST, 2=Semiconductor and MEMS Processing Division, Tokyo Tech.

○M. Nakahama, S. Inoue, A. Matsutani, T. Sakaguchi and F. Koyama

E-mail: [nakahama.m.aa@m.titech.ac.jp](mailto:nakahama.m.aa@m.titech.ac.jp)

## 1. 背景

マイクロマシン反射鏡を面発光レーザに集積した MEMS VCSEL は広帯域・高速な波長掃引が可能であり、かつ長いコヒーレント長を持つため、生体組織のイメージング技術である OCT 用光源として有力視されている[1]。静電力で駆動する MEMS VCSEL は、高い駆動電圧が必要であることが課題であった。本報告では、MEMS の共振周波数で駆動することによる低駆動電圧化の可能性について述べる。

## 2. 動作原理

Fig.1 に製作した 850nm 帯 MEMS VCSEL の概念図を示す。素子の構造は[2]と同様である。通常の VCSEL の上部 DBR 反射鏡は片持ち梁型の MEMS によって保持されており、キャビティ内に厚さ約 1 $\mu\text{m}$  のエアギャップを含む。レーザの表面 n 電極と MEMS 電極の間に電圧を印加することで MEMS を駆動、短共振器化させることで波長を連続的に掃引する。面発光レーザの共振器は数波長程度と短いため、ミラーを数百 nm 駆動することで単一縦モードを保持したまま数十 nm の広い掃引が可能である。

## 3. 測定結果

まず MEMS にバイアス電圧を印加した場合の静的波長掃引の結果を示す。測定した素子の片持ち梁の長さは 136 $\mu\text{m}$  である。Fig.2 はバイアス電圧を 18V-24V 印加した際の発光スペクトルである。サイドモード抑圧比>30dB の単一モードのまま、18nm の波長掃引が得られる。製作した素子は、バイアス電圧 0V での共振波長がストップバンド外にあるため、発振する範囲にまで共振波長をシフトさせるために高い電圧が必要になるが、共振波長をストップバンド中央に設定することで、動的掃引の際に必要なバイアス電圧を 0V にできる。

次に、バイアス電圧 21.3V、交流電圧 0.7V<sub>p-p</sub> を印加した際の発光スペクトルを Fig.3 に示す。交流電圧によって波長が連続的にシフトし、示したスペクトルはその時間平均を表しているため、駆動周波数ごとの波長掃引幅を測定することができる。1kHz では波長は 2nm しかシフトしていないが、MEMS の共振周波数に近づくに伴って掃引幅が拡大し、97kHz では 20.5nm にまで拡大している。

Fig.4 (a) は波長掃引幅の周波数特性である。共振周波数の片持ち梁長さ依存性を確認するため、106-136 $\mu\text{m}$  の素子を測定した。1V<sub>p-p</sub> 以下の低い交流電圧であるにもかかわらず、共振周波数において最大 25nm の広い波長掃引幅を示した。測定値は理論式によるフィッティングと良い一致を示しており、Q 値は 5.7-7.4 であった。Fig.4 (b) の共振周波数の片持ち梁長さ依存性も理論値とよく一致している。片持ち梁の短尺化によりさらに高速動作が可能になる。その際に必要なバイアス電圧は高くなるが、ゼロバイアス時の共振波長をストップバンド中心に設定することで、原理的にバイアス電圧は必要ない。さらに、高い Q 値の MEMS を設計することで、交流電圧の低減が可能である。従って静電力型 MEMS VCSEL の弱点である駆動電圧を数 V<sub>p-p</sub> にまで低

電圧化できる可能性がある。

## 謝辞

本研究は、一部 JST ACCEL 「スローライト構造体を利用した非機械式ハイレゾ光レーザの開発」の補助を受けて行われた。

## 参考文献

[1] C. D. Lu *et al.*, Biomedical Optics Express, 5(1), 293-311 (2014)

[2] M Nakahama *et al.* Optics Express, 22(18), 21471-21479 (2014)

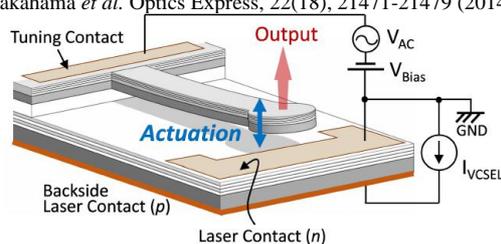


Fig.1. Schematic illustration of our MEMS VCSEL.

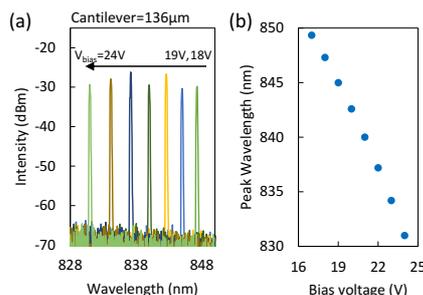


Fig.2. Static wavelength tuning. (a) Spectra, (b)  $\lambda$  versus bias voltage.

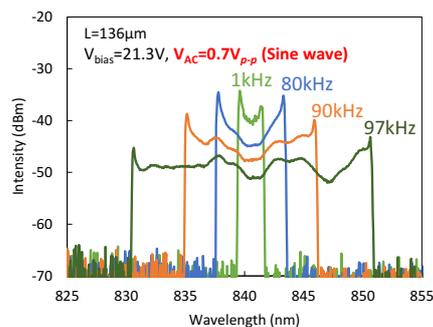


Fig.3. Dynamic emission spectra when sine-wave voltage is applied.

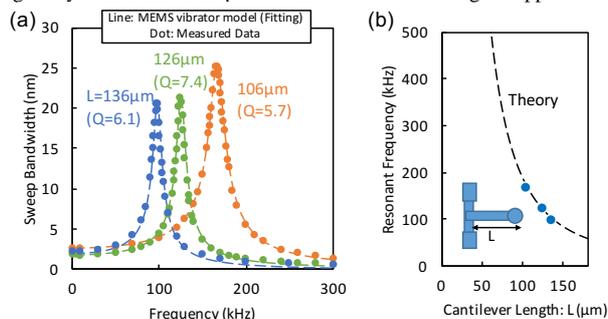


Fig.4. (a) Sweep bandwidth as a function of actuation frequency for different cantilever length. (b) Resonant frequency as a function of cantilever length.