マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書
ARIM User's Report

【Release：2025.06.10】　【Update：2025.05.28】

課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24UT1061
利用課題名 Title	超小型原子時計用のMEMS波長可変光源
利用した実施機関 Support Institute	東京大学 / Tokyo Univ.
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	内部利用（ARIM事業参画者以外）/Internal Use (by non ARIM members)
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	加工・デバイスプロセス/Nanofabrication 計測・分析/Advanced Characterization
重要技術領域 Important Technology Area	高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed 量子・電子制御により革新的な機能を発現するマテリアル/Materials using quantum and electronic control to perform innovative functions
キーワード Keywords	表面処理、形状・形態観察、原子時計、ファブリペロ干渉計,光デバイス/ Optical Device,量子効果/ Quantum effect,光学顕微鏡/ Optical microscope,ダイシング/ Dicing,MEMS/NEMSデバイス/ MEMS/NEMS device,膜加工・エッチング/ Film processing/etching

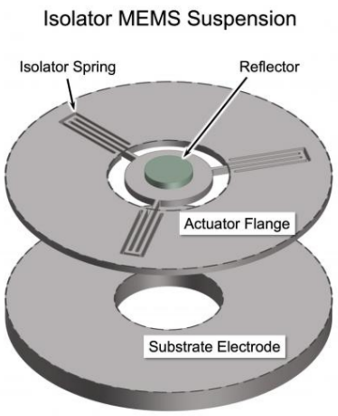
利用者と利用形態 / User and Support Type

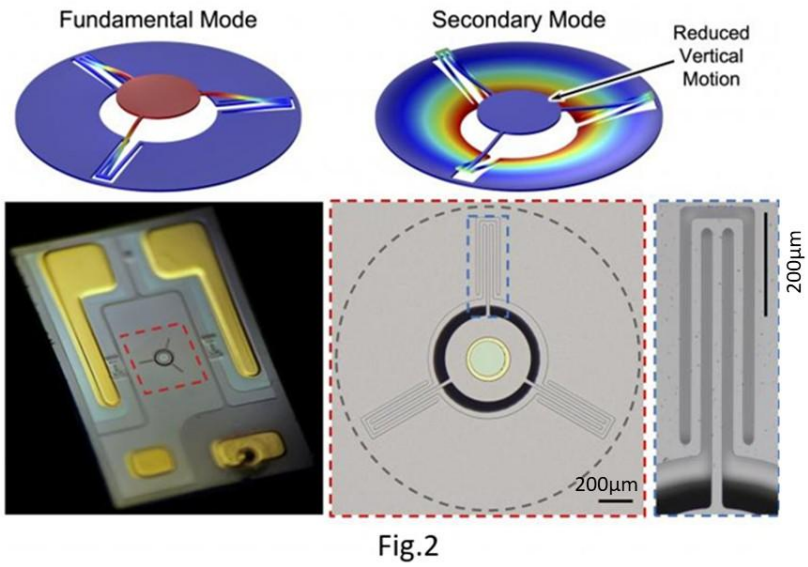
利用者名（課題申請者） User Name (Project Applicant)	年吉 洋
所属名 Affiliation	東京大学生産技術研究所
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	Vivek MENON,Tiara Nur Pratiwi,蒲原 敦彦
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	肥後 昭男
利用形態 Support Type	機器利用/Equipment Utilization,技術相談/Technical Consultation

利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

利用した主な設備 Equipment ID & Name	UT-605：塩素系ICPエッチング装置 UT-900：ステルスダイサー UT-850：形状・膜厚・電気特性評価装置群

報告書データ / Report

概要（目的・用途・実施内容） Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	超小型原子時計のルビジウムガスを励起する光源として、静電駆動型ＭＥＭＳファブリ・ペロ外部共振器を導入した波長可変型の面発光レーザー光学系を構築した。
実験 Experimental	化合物半導体の面発光型ハーフVCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)の外部共振器として、貼り合わせシリコン基板の両面を微細加工して、印加電圧の静電引力によって制御可能なＭＥＭＳファブリペロ干渉計ミラーを製作した。素子製作にあたり、ＭＥＭＳプロセス後のチップを個別に切り出すステルスダイシング装置を使用した。また、製作したミラーの平坦性評価にレーザー顕微鏡を使用した。
結果と考察 Results and Discussion	レーザーダイオードチップとＭＥＭＳミラーを接合して、Fig. 1の概念図に示すような静電駆動型のＭＥＭＳ波長可変光源を構成した。この技術により、製造時ウエハ面内の発振波長のばらつきを794.98nmに合わせ込む手法を実験的に検討した。また、発振波長の時間的揺らぎの原因として、ＭＥＭＳミラーの高次モードの振動が主たる原因であることを構造解析により突き止め、これを解決する手段として、高次モードの機械的振幅を1/10以下に抑制する手法を考案し、Fig. 2に示すような形状の可動ミラー系を製作した。
図・表・数式 1 Figures, Tables and Equations 1	 Fig.1 Fig.1 外部機械振動に対してロバストな静電駆動型ＭＥＭＳマイクロミラー構造の概念図。

図・表・数式２ Figures, Tables and Equations 2	 Fig.2 発振波長の時間的揺らぎを抑制するために静電駆動部分とミラー構造をダンパバネで結合した。超小型原子時計ガスセルを励起する面発光レーザーの波長調整機構として使用する。
その他・特記事項（参考文献・謝辞等） Remarks(References and Acknowledgements)	l 本研究は、総務省・「令和４年度から新たに実施する電波資源拡大のための研究開発に係る提案公募」による「周波数資源の有効活用に向けた高精度時刻同期基盤の研究開発」のうち「原子時計主要構成部品の小型化の研究開発」の一環として、共同研究先のsantec株式会社とともに実施した。l 東京大学微細加工拠点のスタッフにはいつも丁寧な技術支援を頂いており、感謝申し上げる。2. 【発表済み成果】Vivek Anand Menon, Yi Xiao, Mohammed Saad Khan, Changdae Keun, Keiji Isamoto, Nobuhiko Nishiyama, and Hiroshi Toshiyoshi, "ACTUATOR/REFLECTOR DECOUPLING FOR REDUCED EXCITATION OF SECONDARY MECHANICAL RESONANCE MODES IN MEMS-TUNABLE VCSELS," in Proc. The 37th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2024), Jan. 21-25, 2024, Austin, Texas, pp. 1075-1078.

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

DOI（論文・プロシーディング） DOI (Publication and Proceedings)	
口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[1] Oral Presentations etc.	Vivek Anand Menon, Yi Xiao, Mohammed Saad Khan, Changdae Keun, Keiji Isamoto, Nobuhiko Nishiyama, and Hiroshi Toshiyoshi, "ACTUATOR/REFLECTOR DECOUPLING FOR REDUCED EXCITATION OF SECONDARY MECHANICAL RESONANCE MODES IN MEMS-TUNABLE VCSELS," in Proc. The 37th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2024), Jan. 21-25, 2024, Austin, Texas, pp. 1075-1078.
特許出願件数 Number of Patent Applications	0件
特許登録件数 Number of Registered Patents	0件