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：2025.05.22】

課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24UT1060
利用課題名 Title	ＭＥＭＳエレクトレット振動発電素子
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	革新的なエネルギー変換を可能とするマテリアル/Materials enabling innovative energy conversion
キーワード Keywords	表面処理,形状・形態観察、振動発電素子,光学顕微鏡/ Optical microscope,電子線リソグラフィ/ EB lithography,ダイシング/ Dicing,環境発電/ Energy Harvesting

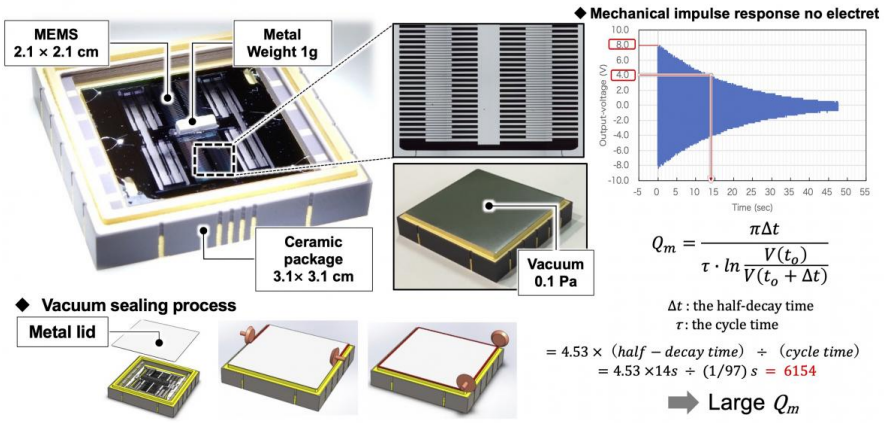
利用者と利用形態 / User and Support Type

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	橋口 原（静岡大学）,本間 浩章（神戸大学）
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-500：高速大面積電子線描画装置 UT-900：ステルスダイサー

報告書データ / Report

概要（目的・用途・実施内容） Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	ＩｏＴ無線センサ用の自立電源として、周波数１００Ｈｚ付近で±数Ｈｚの周波数追従機能を有するＭＥＭＳ方式の振動発電素子（エナジーハーベスタ）を実現した。
実験 Experimental	武田先端知ビルクリーンルームの高速大面積電子線描画装置でパターンを描画し、最後に同クリーンルーム内のステルスダイサーで個片化した。 以上のようなシリコンマイクロマシニング加工で製作した面積２ｃｍ×３ｃｍ程度の振動素子の電極表面にエレクトレット（永久電荷）を有するシリコン酸化膜を形成し、外部振動による電極間の相対的距離の変化から静電誘導電流を発生する振動発電素子を形成した。また、その電極の一部分を切り分けて振動の位相を計測できるように改良し、外部振動による強制励振の加速度から９０˚位相遅れの状態（すなわち共振）を自動的に維持するＰＬＬ（Phase Locked Loop）形式の制御回路を構成した。これにより、外部振動の周波数に追従して高出力を維持可能な振動発電素子を実現した。Fig.1に実現した振動発電素子の構造図と特性を示す。
結果と考察 Results and Discussion	本研究に先立ち、昨年度には外部負荷の値によって系の共振周波数を制御可能なエレクトレット型の振動発電素子を実現した。今回はこの成果に基づき、外部振動に対する応答の位相遅れを電気的に計測可能な電極を有する素子を考案し、それをＰＬＬ形式の制御回路内に組み込んで、外部振動周波数を常に追従する世界初の振動発電素子を実現した。
図・表・数式 1 Figures, Tables and Equations 1	 FIg.1 シリコンマイクロマシニングによるＭＥＭＳ振動発電素子。シリコン構造体表面の酸化膜に帯電してエレクトレット膜を形成した。外部振動により静電誘導電流を効率良く発生するために真空パッケージにより空気抵抗を低減した。

その他・特記事項（参考文献・謝辞等） Remarks(References and Acknowledgements)	本研究は科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（グラント番号 JPMJCR19Q2）の支援を受け、静岡大学、群馬大学、株式会社鷺宮製作所との共同研究として実施しました。 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。 【既発表論文】 ・Hiroaki Honma, MEMS Electrostatic Energy Harvester Developed by Simultaneous Process for Anodic Bonding and Electret Charging, Sensors and Materials, 35, 1941(2023). DOI: https://doi.org/10.18494/SAM4402 ・Gen Hashiguchi, Electret MEMS Vibration Energy Harvester with Reconfigurable Frequency Response, Sensors and Materials, 35, 1957(2023). DOI: https://doi.org/10.18494/SAM4367 【既口頭発表】 ・Yuto Akai, Hiroaki Honma, and Hiroshi Toshiyoshi, "FREQUENCY TRACKING OF VIBRATIONAL ENERGY HARVESTER USING PHASE-LOCKED LOOP (PLL)," in Proc. 22nd International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2023), June 25-29, 2023, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, pp. 284-287. (oral) ・Hiroaki Honma, Yukiya Tohyama, and Hiroshi Toshiyoshi, "A MEMS VIBRATIONAL ENERGY HARVESTER CAPABLE OF RESTLESS CHARGING CAPACITOR FROM RANDOM VIBRATIONS," in Proc. 22nd International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2023), June 25-29, 2023, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, pp. 1252-1255. (poster) ・Hiroyuki Mitsuya, Hisayuki Ashizawa, Takuma Ishiguro, Gen Hashiguchi, Kenji Shiraishi, and Hiroshi Toshiyoshi, "Highly reliable electret for heat resistive vibrational energy harvester," in Proc. 19th International Symposium on Electret (ISE19), Sept. 18-22, 2023, Bildungshaus Sankt Magdalena Educational Center, Linz, Austria. ・Hiroyuki Mitsuya, Katsufumi Hashimoto, Kai-Chun Chang, Hisayuki Ashizawa, Hiroaki Honma, Gen Hashiguchi, Hiroshi Toshiyoshi, and Tomoki Shiotani, "Low-Power Frequency Monitoring System for Bridge using MEMS Vibrational-Energy Harvesting Sensor," Innovative Non-Destructive Testing for Civil Engineers (INDTCE) and 4th International Workshop on Self-Healing & Intelligent Materials (SHIM), Oct. 30 - Nov. 2, 2023, Hilton Hawaiian Village, Honolulu, Hawaii, US.

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 Oral Presentations etc.	
特許出願件数 Number of Patent Applications	0件
特許登録件数 Number of Registered Patents	0件