

マイクロ g レベル検出のための Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサにおける錘の穴サイズがブラウニアンノイズ B_N に及ぼす影響

Effect of Perforated Proof-Mass Hole Size on Brownian Noise B_N

of Gold Single-Axis MEMS Accelerometer for Micro-g Level Sensing

東京工業大学, °山田 虎人, 御宿 希祐, Devi Srujana Tenneneti, 向出 千隼, 町田 克之, 栗岡 智行, Tso-Fu Mark Chang, 曾根 正人, 三宅 美博, 伊藤 浩之
Tokyo Tech, °Torauto Yamada, Kisuke Miyado, Devi Srujana Tenneneti, Chihaya Mukaide, Katsuyuki Machida, Tomoyuki Kurioka, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone, Yoshihiro Miyake, Hiroyuki Ito

E-mail: yamada.t.bz@m.titech.ac.jp

【はじめに】当研究室ではマイクロ g レベル ($1g=9.8m/s^2$) の加速度を検出可能な高感度 MEMS 加速度センサを検討している。高感度化を実現するために、錘材料として高密度材料の Au を採用し、加速度センサの性能を決定するブラウニアンノイズ B_N を低減した Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサを開発している[1]。 B_N は、以下の式(1)で表される[2,3]。

$$B_N = \sqrt{4k_B T b / 9.8m} \text{ (g}/\sqrt{\text{Hz}}\text{)}, \quad (1)$$

ここで、 k_B 、 T 、 b 、 m はそれぞれボルツマン定数 ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)、絶対温度(K)、減衰係数(Ns/m)、錘の質量(kg)である。式(1)より B_N は錘の質量 m と減衰係数 b に依存する。これまで B_N の減衰係数 b 依存性の報告例はない。今回、我々は減衰係数に影響を及ぼす錘のホールサイズに着目し、その時の B_N の挙動について検討した。本論文では、 B_N のホールサイズ依存性を検討し、その検討の妥当性を検証するために、マイクロ g レベル検出のための $1.0 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下の B_N を目標として、Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサを設計、試作したので報告する。

【解析手法・設計】図1に当研究室で開発した Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサと錘の構造を示す。 L 、 W 、 L_a 、 L_E 、 d_0 はそれぞれ錘の縦幅(m)、錘の横幅(m)、ホールピッチ(m)、ホールサイズ(m)、電極—錘間の初期ギャップ(m)である。ホールサイズ依存性を調べるために、当グループで提案・構築した穴あき錘に対応した減衰係数 b モデルを用いた[4]。本モデルは以下の式(2)で表される。

$$b = 16n\mu \cdot 10.4(L_*/d_0)^{-2.65} L_*^4/d_0^3 \text{ (Ns/m)}, L_* = \sqrt{L_a^2 - L_E^2} \text{ (m)}, \quad (2)$$

ここで、 d_0 、 n 、 μ は電極—錘間距離(m)、エッチングホール数、空気粘性係数($1.85 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}$)である。図2に錘の厚さを $30 \mu\text{m}$ 一定として式(1),(2)による B_N と b のホールサイズ依存性の計算結果を示す。 $10 \mu\text{m}$ と $40 \mu\text{m}$ のホールを比較し、 B_N は 10%程度 の大きさを示し、 b は 80%程度小さく、向上している。 $40 \mu\text{m}$ のホールのアスペクト比 (錘の厚さ/ホールサイズ) に注目すると、1 より小さく、犠牲層除去工程では 1 より小さいことが望ましく、 $40 \mu\text{m}$ のホールはプロセスに適していると考えられる。上記結果を検証するために、 $40 \mu\text{m}$ のホールの Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサを設計・試作した。

【結果】LDV(Laser Doppler Vibrometry)法による振動測定の評価により、試作したホールサイズ $40 \mu\text{m}$ の錘を有する Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサにおいてブラウニアンノイズ B_N は、目標である $1.0 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下の $300 \text{ ng}/\sqrt{\text{Hz}}$ を得られることがわかった。

【まとめ】Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサの錘のホールサイズとのブラウニアンノイズ B_N の関係について検討した。ホールサイズが $40 \mu\text{m}$ の Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサは MEMS プロセスの歩留まりを考慮しつつマイクロ g レベルの検出が可能なデバイスと考える。したがって、ホールサイズとブラウニアンノイズ B_N との関係性を考慮した設計は MEMS プロセスに有効であることを確認した。

【謝辞】本研究は JST CREST (JPMJCR21C5) の助成を受けたものである。

【参考文献】 [1] K. Masu, et al., *ECS Trans.*, vol. 97, pp. 91–108, 2020. [2] N. Yazdi, et al., *Journal of systems.*, vol. 9, no. 4, pp. 544–550, 2000. [3] B. E. Boser, et al., *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 31, no. 3, pp. 366–375, 1996. [4] K. Shibata, et al., *IEEE Sensors J.*, vol. 22, no. 15, pp. 544–550, 2022.

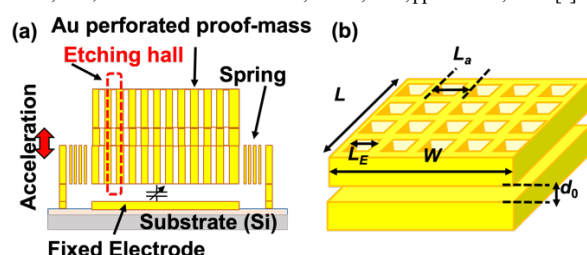


Fig. 1. (a) Schematic diagram of MEMS accelerometer with perforated proof-mass. (b) Conceptual diagram of proof mass with etching hall.

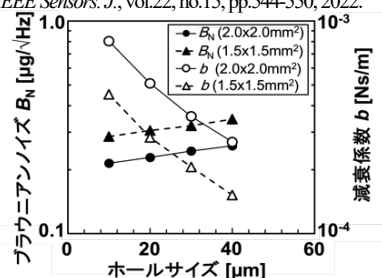


Fig. 2. Hole size dependence of the Brownian noise B_N and damping coefficient b for a MEMS accelerometer with constant proof-mass size.