

一般セッション(口頭講演) | 13 半導体：13.4 Si系プロセス・Si系薄膜・MEMS・装置技術

🎵 2024年9月17日(火) 9:00 ~ 11:00 🏢 B1 (展示ホールB)

[17a-B1-1~7] 13.4 Si系プロセス・Si系薄膜・MEMS・装置技術

居村 史人(Hundred Semiconductors)、呉 研(東工大)

9:00 ~ 9:15

[17a-B1-1]

カンチレバー構造a-InGaZnO TFTの応力依存性評価

○岩松 新之輔^{1,2}、峯田 貴² (1.山形県工技セ、2.山形大学工学部)

9:15 ~ 9:30

[17a-B1-2]

圧電薄膜共振子の開発

○天本 百合奈¹、照元 幸次¹、下地 規之¹、内貴 崇¹、合田 賢司¹、木村 俊¹、奥 良彰¹ (1.ローム(株))

◆ 奨励賞エントリー

9:30 ~ 9:45

[17a-B1-3]

高感度Au錘1軸MEMS加速度センサにおける錘形状による反り抑制検討

○(B)向出 千隼¹、Devi Srujana Tenneti¹、御宿 希祐¹、山田 虎人¹、町田 克之¹、栗岡 智行¹、Tso-Fu Mark Chang¹、曾根 正人¹、三宅 美博¹、伊藤 浩之¹ (1.東工大)

◆ 奨励賞エントリー

9:45 ~ 10:00

[17a-B1-4]

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○(B)山田 虎人¹、御宿 希祐¹、Tenneti Devi Srujana¹、向出 千隼¹、町田 克之¹、Chang Tso-Fu Mark¹、栗岡 智行¹、曾根 正人¹、三宅 美博¹、伊藤 浩之¹ (1.東工大)

10:15 ~ 10:30

[17a-B1-5]

ミニマルファブを用いた3軸ピエゾ抵抗型加速度センサの感度低下要因についての検討

○小粥 敬成¹、関藤 竜平¹、田中 宏幸²、居村 史人³、谷島 孝¹、原 史朗^{1,2,3} (1.ミニマルファブ、2.産総研、3.Hundred)

◆ 英語発表

10:30 ~ 10:45

[17a-B1-6]

Visualization of strain distribution in MEMS resonators using stroboscopic differential interference contrast microscopy

○Qian Liu¹、Mirai Iimori¹、Ya Zhang¹ (1.Inst. of Eng., Tokyo Univ. of Agri. & Techno.)

10:45 ~ 11:00

[17a-B1-7]

立体構造トランジスタ製造に対応したCMPプロセス制御技術の開発

○笠嶋 悠司¹、松川 貴¹、上嶋 和也¹、山岸 雅司¹、林 喜宏¹ (1.産総研先端半導体RC)

カンチレバー構造 a-InGaZnO TFT の応力依存性評価

Stress dependence of cantilever type a-InGaZnO TFTs.

山形県工技セ¹, 山形大工² ○岩松 新之輔^{1,2}, 峯田 貴²

Yamagata Res. Inst. Tech.¹, Yamagata Univ.² °Shinnosuke Iwamatsu^{1,2} and Takashi Mineta²

E-mail: iwamatsush@pref.yamagata.jp

【はじめに】アモルファスインジウム-ガリウム-亜鉛酸化物薄膜トランジスタ (a-InGaZnO TFT) のセンサ応用が進められている。a-InGaZnO の外部電界に対する感受性を活用した pH センサ⁽¹⁾, ガスセンサ⁽²⁾などが開発されているが, MEMS 構造体を活用したセンサの報告例は少ない。本研究では, a-InGaZnO TFT と MEMS 構造体の融合を目的として, a-InGaZnO TFT を単結晶 Si カンチレバー構造体の上に形成するプロセスを検討し, 外部応力が TFT 特性に与える影響を評価した。

【実験及び結果】デバイス基板には, 比抵抗 $0.005 \Omega\text{cm}$ 以下のボロンドープの低抵抗 p 型シリコンを用いた。初めに, 基板裏面から反応性イオンエッチング (D-RIE) により残厚 $10\sim30 \mu\text{m}$ のダイアフラム状に加工し, 次に基板表面側から D-RIE により貫通エッチングしてカンチレバー構造を形成した。TFT 構造は, ボトムゲート型とし, Si 基板をゲート電極, 熱酸化膜をゲート絶縁膜として用いた。TFT はマスクスパッタ法により形成し, Si の熱酸化膜形成後, a-InGaZnO 活性層, S/D 電極, パッシベーション膜を順次形成した。アニール処理は, a-InGaZnO 活性層形成後に 400°C で 1 h, 素子完成後に 350°C で 1 h, それぞれ大気中で実施した。カンチレバー型 a-InGaZnO TFT の外観を Fig. 1 に示す。カンチレバー長さを 20 mm, 幅を 5 mm とし, 厚さは $20 \mu\text{m}$ であった。TFT は, カンチレバー固定端付近および中心付近に配置した。曲げ応力を印加した状態の TFT 特性を Fig. 2 に示す。マイクロメータヘッドを用いて, カンチレバー先端を押し込み, カンチレバー上面に引張応力を与えた。カンチレバー押し込み量が $0\sim4 \text{ mm}$ の状態で伝達特性を測定した結果, 特性の変化は確認できなかった。また, 測定後, カンチレバー構造体, TFT 薄膜に剥離, クラックなどの発生もなかった。本測定の最大変位 4 mm は, 曲げ応力 100 MPa, 曲率半径 50 mm に相当し, 通常の MEMS デバイスで用いる範囲を超える変形量である。以上の結果から, a-InGaZnO TFT の変形に対する安定性を確認し, MEMS 構造上での運用の可能性を見出した。

(1) S. Iwamatsu, et al., ECS J. Solid State Sci. Technol., 11 (2022) 117003. (2) H.-W. Zan, et al., Appl. Phys. Lett., 98 (2011) 253503.

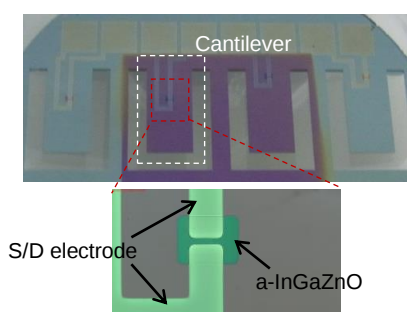


Fig. 1 カンチレバー型 a-InGaZnO TFT

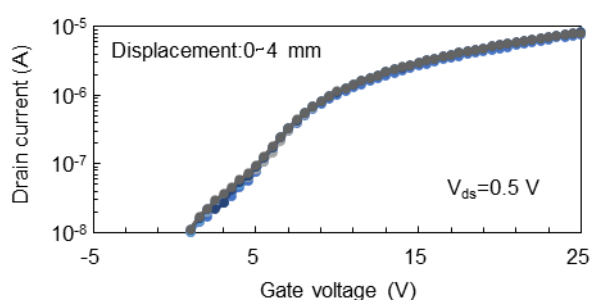


Fig. 2 曲げ応力印加時の伝達特性

圧電薄膜共振子の開発

Development of thin film piezoelectric resonator

ローム(株), °天本 百合奈, 照元 幸次, 下地 規之, 内貴 崇, 合田 賢司, 木村 俊, 奥 良彰

Rohm Co., Ltd., °Yurina Amamoto, Koji Terumoto, Noriyuki Shimoji, Takashi Naiki, Kenji Goda,

Takashi Kimura, Yoshiaki Oku

E-mail: yurina.amamoto@dsn.rohm.co.jp

【緒言】

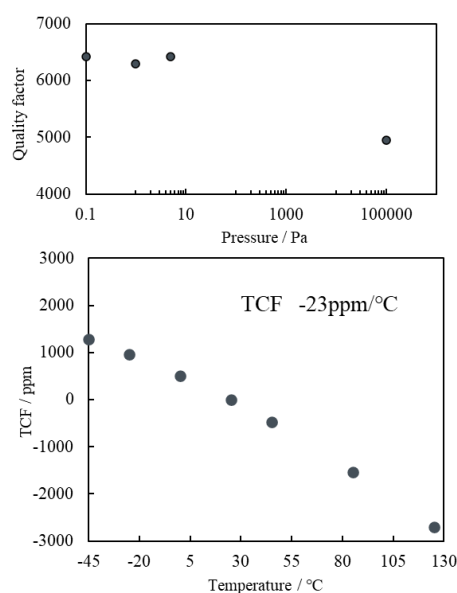
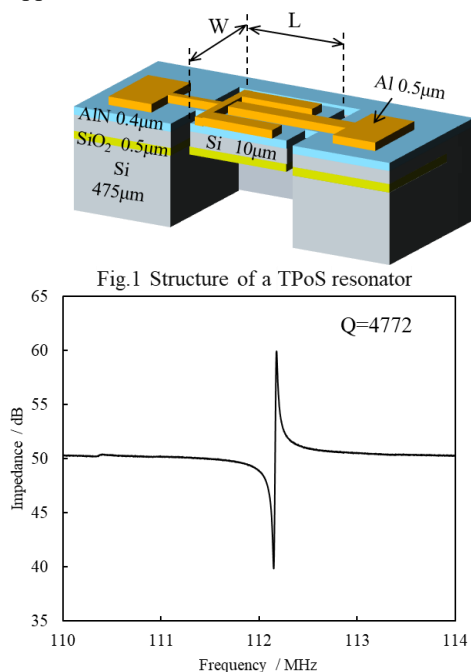
5G・6G 時代の通信システム高速化によりクロック回路の高周波数化の要求が高まっている。現在多くのクロック回路では高い温度安定性を持つ水晶素子が用いられているが、その発振周波数は水晶の厚みで決定されるため水晶の加工技術による発振周波数の限界が存在している。また、近年は MEMS 技術を活用した小型・高信頼性の静電型 MEMS 共振子も開発が進んでいるが、高周波発振対応に問題が残る。一方、Si と圧電薄膜を組み合わせた TPoS(Thin film Piezoelectric on Si)構造の圧電薄膜共振子は高い性能指数(Q 値)かつ低運動抵抗(Rm)を実現することができると共に、圧電薄膜は 1GHz を超える高い周波数での発振が可能である。今回我々のグループでは Si(111)上に成膜した単結晶 AlN 圧電薄膜を利用した TPoS 構造の共振子を試作し、その基本的な性能を評価した。

【実験手順】

Si(111)SOI 基板に MOCVD(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)で単結晶 AlN を成膜し、Al 配線形成後に裏面から DRIE(Deep Reactive Ion Etching)でキャビティ構造を形成することで図 1 に示す圧電薄膜共振子を作製した。各素子の発振性能の評価は Keysight 社製の VNA (P9375B)で実施した。

【結果】

図 2 に試作品の代表的な素子特性を示す(W/L=200/300 μm)。112MHz において 5 次モード発振が得られその時の Q 値は 4772 であった。さらに周辺圧力・温度が素子特性に与える影響を評価した。素子周辺環境が高真空になることで空気抵抗効果が減少し Q 値が 29%向上することが確認された。また、温度特性として TPoS 共振子の周波数温度係数(TCF)を評価すると-45°C~125°Cにおいて -23ppm/°Cという値が得られた。TCF を中心とした評価結果の詳細については当日議論する。



高感度 Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサにおける 錘形状による反り抑制検討

Suppression of Proof-Mass Geometry on Warpage in Highly Sensitive Gold Single-Axis MEMS Accelerometers

東京工業大学, °向出 千隼, Devi Srujana Tenneti, 御宿希祐, 山田虎人,
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, °Chihaya Mukaide, Devi Srujana Tenneti, Kisuke Miyado, Torauto Yamada,
Katsuyuki Machida, Tomoyuki Kurioka, Tso-Fu Mark Chang,
Masato Sone, Yoshihiro Miyake, Hiroyuki Ito
E-mail: mukaide.c.aa@m.titech.ac.jp

【はじめに】当研究室では積層メタル技術[1]を用いてマイクロ G レベルの検出のため高感度 Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサ[2]を開発している。マイクロ G レベルの検出のためには加速度センサのブラウニアンノイズ B_N ($\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$) を $1\text{ }\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下とする必要がある。この条件を満たすためには、錘面積を少なくとも数 mm^2 と大きくしなければならない。一方で、錘面積の増大に伴い MEMS プロセスにおける 300°C アニールにより錘が反る可能性がある[3]-[4]。この錘の反りによるデバイス特性への影響が課題である[5]-[6]。これまで錘形状として、十字錘を採用してきた。今回、Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサの十字錘の反りの課題を検討し、反りの抑制方法として錘の新規形状を提案・検討したので報告する。

【Au 1 軸錘 MEMS 加速度センサの概念】図 1 に当研究室で検討している Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサの概念図を示す。デバイスは十字錘、検出電極、ばね、ストッパで構成される。加速度が印加されると錘の変位を静電容量として検出する方式である。

【有限要素法解析(Finite Element Analysis(FEA))による錘の反りの検討】錘の反りを検討するために、有限要素法 (FEA) によるシミュレーションを実施した。FEA として COMSOL を用いた。錘の反り評価の水準として、錘の厚さと形状に着目した。図 2(a)(b)に十字錘の厚さ ($27.3\text{ }\mu\text{m}$ および $30.3\text{ }\mu\text{m}$) を水準とした比較を示す。さらに、図 2(c)に新規形状として提案する 8 角形錘の結果を示す。シミュレーション結果から、十字錘の反りは周辺に集中し、厚さを増加しても反りが低減することがないことがわかった。一方、提案した 8 角形錘では、周辺への熱応力集中が緩和されたため反りが抑制されることがわかった。したがって、錘形状として新規 8 角形を採用することにより、錘の厚さを増加させるよりも反り抑制の効果が得られることを確認した。

【実験・結果】シミュレーション結果に基づいて 8 角形 Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサを設計、試作した。図 3 に SEM 写真を示す。8 角形形状により反りが抑制され所望の構造を実現したことを確認した。また、LCR メータによる容量の周波数依存性の測定結果から、ブラウニアンノイズ B_N ($\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$) として $0.149\text{ }\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ が得られ、目標の $1\text{ }\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下を達成した。以上の結果から 8 角形の錘形状を採用することによって反りによる課題を克服できることを確認した。

【まとめ】新規提案した 8 角形錘を採用することにより反り抑制の効果が得られることを明らかにした。試作した Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサの実験評価により、所望のブラウニアンノイズ B_N ($\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$) が得られることを確認した。したがって、8 角形錘が、大きい錘による高感度 Au 錘 1 軸 MEMS 加速度センサの実現に有用である。

【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. Machida, *et al.*, ECS Trans., vol. 92, pp. 169-184, 2019. [2] K. Masu, *et al.*, ECS Trans., vol. 97, pp. 91-108, 2020. [3] A. Onishi, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., vol.61, no.SD, pp.SD1028, 2022. [4] T. Omura, *et al.*, 48th international conference on MNE-EuroSensors (MNE-ES), 2022. [5] D. Liu, *et al.*, Sensors 2020, 20, pp.1186,2020. [6] W. Yao, *et al.*, In Proceedings of the 17th International Conference on EuroSimE, pp. 1-6,2016.

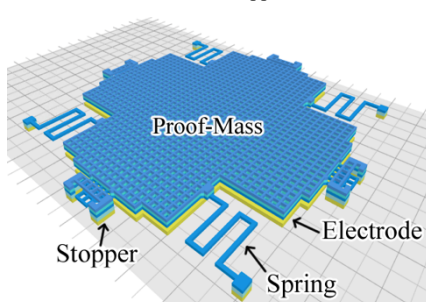


Fig.1 Schematic diagram of MEMS accelerometer structure

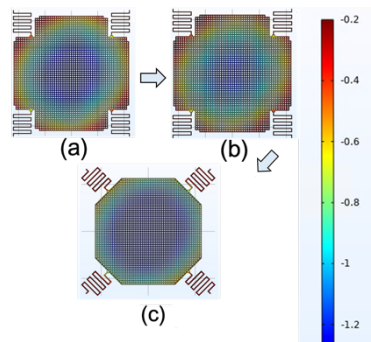


Fig.2 Warpage Simulation result of proof-masses (a)Thickness $27.3\text{ }\mu\text{m}$ (b) $30.3\text{ }\mu\text{m}$ (c) $30.3\text{ }\mu\text{m}$ with octagonal

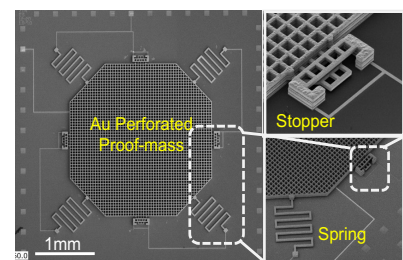


Fig.3 SEM photograph of MEMS accelerometer with octagonal proof-mass

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.

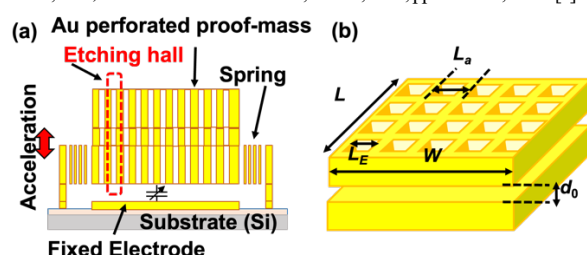


Fig. 1. (a) Schematic diagram of MEMS accelerometer with perforated proof-mass. (b) Conceptual diagram of proof mass with etching hall.

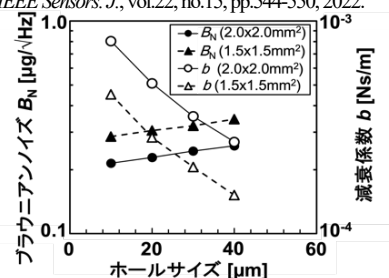


Fig. 2. Hole size dependence of the Brownian noise B_N and damping coefficient b for a MEMS accelerometer with constant proof-mass size.

ミニマルファブを用いた3軸ピエゾ抵抗型加速度センサの 感度低下要因についての検討

Investigation of Factors that Degrade the Sensitivity of three-axes Piezo-resistive Accelerometer in Minimal-Fab Process

ミニマルファブ推進機構¹, 産業技術総合研究所², (株)Hundred Semiconductors³

○小粥 敬成¹, 関藤 竜平¹, 田中 宏幸², 居村 史人³, 谷島 孝¹, 原 史朗^{1,2,3}

MINIMAL¹, AIST², and Hundred³,

Hiroshige Kogayu¹, Ryuhei Sekifuji¹, Hiroyuki Tanaka², Fumito Imura³, Takashi Yajima¹, and Shiro Hara^{1,2,3}

E-mail: hiroshige-kogayu@minimalfab.com

【背景・目的】MEMS デバイスの多品種少量性は、我々が実用化したミニマルファブに適していることから、当初から装置の開発と共に MEMS デバイスの開発も進めてきた[1]–[4]。最近では、ボッシュプロセスによる深掘りエッチング技術がミニマルファブでも開発された[5]ので、ピエゾ抵抗型加速度センサを試作してきた[6]–[9]。これらの試作において、3軸加速度センサでは、x 軸方向と y 軸方向は 90 度回転させた対称の形状であるが、x 軸/y 軸方向で同等の感度が得られないという課題があった。それに対しウェハ表と裏のパターンのズレが原因と推定し、改善を行ってきた。そこで今回は感度低下要因をより明確化するため、パターンのズレ量と感度の関係を定量化することを試みた。また、評価にあたっては市販の加振器による加速度評価システムを用いず、より簡便で安価に評価できる方法を検討した。本稿ではその試作内容と感度低下要因について実験を行った結果を報告する。

【作製・評価方法】試作したプロセスは図1に示すようにBOX酸化膜をストップパにしてウェハ表面からのエッチングとウェハ裏面からのエッチングを行ない梁端部に設置したピエゾ抵抗が適正に機能しない領域が出てくる。これが感度低下を招く要因と考え、今回は図2に示すように裏面を意図的にずらしたパターンを設計して試作を行なった。裏面を x 方向に+10 μm ずらした例を示している(図3は試作後の外観)。振動評価については図6に示すように振動スピーカを用いて自作し、比較対象として市販の加速度センサも取付け、L 字型治具に試作した 3 軸加速度センサを装着してセットアップを行なった。測定はアンプに周波数 150Hz の正弦波を入力し手動で加速度を調整して、オシロスコープの FFT 機能を用いて、市販の加速度センサの出力値に対する 3 軸加速度センサの x 方向及び y 方向の出力電圧から感度を求めた。

【結果と考察】図7に表裏のパターンズレ量と感度の関係を示す。プロットはズレ量の設計値[μm]として(x,y)=(0,0)、(+10,0)、(0,+5)、(0,+10)の4種類のものであるが、横軸は図4、5に示すウェハ内に8個配置したズレ量確認プロセス TEG の測定データを基準として、MEMS チップのウェハ内の位置でのズレ量を補正して絶対値を取ったズレ量である。ズレ量が大きくなるに従って感度が低下する傾向であり、この場合の感度はズレ量 1 μm あたり 0.0055mV/(VG)低下し、またピエゾ抵抗の長さは 25 μm であることからズレ量 25 μm で感度はほぼゼロとなったと考えられる。ただし感度のばらつきには、このズレ量の他に、本プロセスでは梁の厚さ(=SOI 層の厚さ)のコントロールを研磨で行なっており、ウェハ面内の SOI 層厚さばらつきも1つの要因である可能性がある。

<参考文献>

- [1] 原史朗, クンパアンソマワ, 「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」, 応用物理, 83(5), 380 (2014).
 - [2] クンパアンソマワ, 「ミニマルファブにおけるデバイスプロセス開発事例」, クリーンテクノロジー, Vol.23, No.12 (2014).
 - [3] Y. X. Liu et al., Jpn. J. Appl. Phys. 57, 06HD03-1-6, 2018.
 - [4] Tuan Anh Phan, 他, 第78回応用物理学会秋季学術講演会 6p-C21-13(2017).
 - [5] 田中宏幸, 他, 第79回応用物理学会秋季学術講演会 21p-233-7(2018).
 - [6] 小粥敬成, 他, 第68回応用物理学会春季学術講演会 19p-Z24-5(2021).
 - [7] 小粥敬成, 他, 第69回応用物理学会春季学術講演会 24a-E102-6(2022).
 - [8] 小粥敬成, 他, 第83回応用物理学会秋季学術講演会 20p-A406-13(2022).
 - [9] 小粥敬成, 他, 第70回応用物理学会春季学術講演会 15p-B410-2(2023).
- 謝辞: この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP12004)の結果得られたものです。

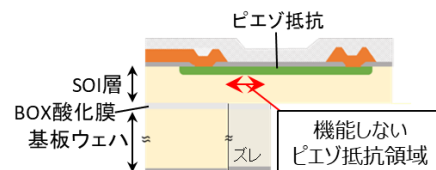


図1. 梁端部断面図

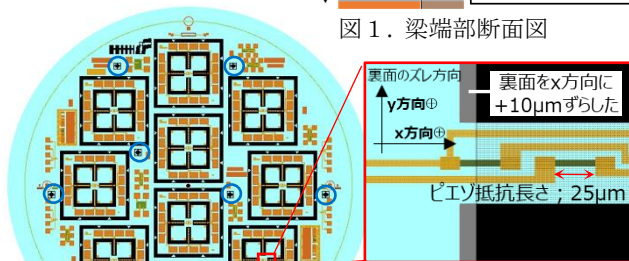


図2. 梁端部レイアウト図

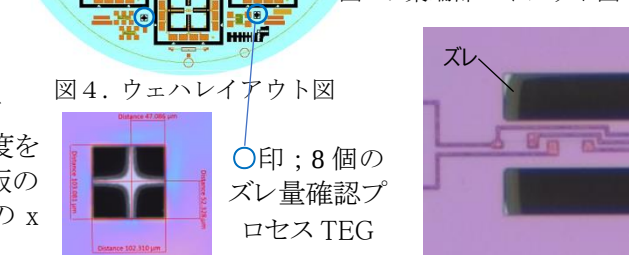


図3. 梁端部の外観

図4. ウェハレイアウト図

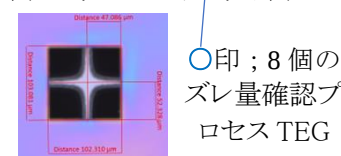


図5. ズレ量確認プロセス TEG

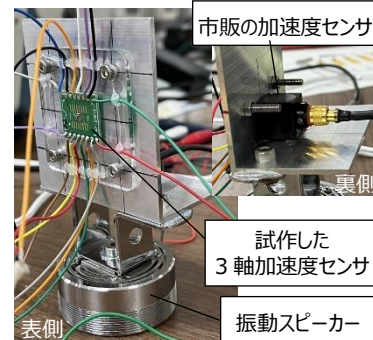


図6. 自作した評価セットアップ

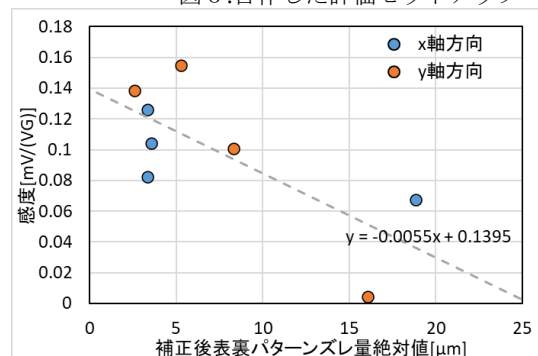


図7. 表裏のパターンズレ量と感度の関係

Visualization of strain distribution in MEMS resonators using stroboscopic differential interference contrast microscopy

Inst. of Eng., Tokyo Univ. of Agri. & Techno.¹, °Qian Liu¹, Mirai Iimori¹, and Ya Zhang¹

E-mail: zhangya@go.tuat.ac.jp

MEMS resonators are promising for sensing applications owing to their intrinsic high sensitivities. In MEMS devices, piezoelectric or piezoresistive transducers are crucial for converting the mechanical vibrations into electrical signals. Since the output signal is in proportional to the surface strain, it is highly desirable to precisely characterize the surface strain distribution in MEMS devices. Currently, numerical methods such as Finite Element Method are commonly used to analyze the strain distribution in MEMS devices. However, owing to the small size of MEMS devices, experimental analysis of strain distribution remains challenging.

In this work, we propose a novel surface strain analysis method for MEMS resonators using stroboscopic differential interference contrast (DIC) microscopy. The stroboscopic DIC microscope visualizes the mechanical vibrations of MEMS devices through the interference of two light beams reflected from the sample surface with a small lateral shift [1]. With the DIC images, we can obtain the differential surface deflection of MEMS resonators caused by the vibration motions. By further differentiating the result, we can obtain the deflection induced strain (ε) distribution of MEMS resonators, by

$$\varepsilon = \frac{t_0}{4} \times \frac{d^2 z}{dx^2} \quad (1).$$

We have performed the strain measurement for a GaAs doubly clamped MEMS beam resonator with a geometry of $100(L) \times 30(W) \times 1.2(t) \mu\text{m}^3$, as shown in Fig. 1(a). The MEMS resonator is driven in its 1st bending mode, with a resonance frequency of ~ 695 kHz. The measured surface strain distribution is shown in Fig. 1(b), as seen, surface strain distributes not only on the MEMS beam, but also on the over etching part, indicating that the over etching effectively extends the vibration area, which must be considered in designing the transducers. Fig. 1(c) plots the numerical result of the MEMS beam resonator for the 1st bending mode by using a FEM tool (COMSOL). As seen, the experimental result shows reasonable agreement with the numerical result, demonstrating the effectiveness of the stroboscopic DIC method for analyzing the surface strain distributions of MEMS devices.

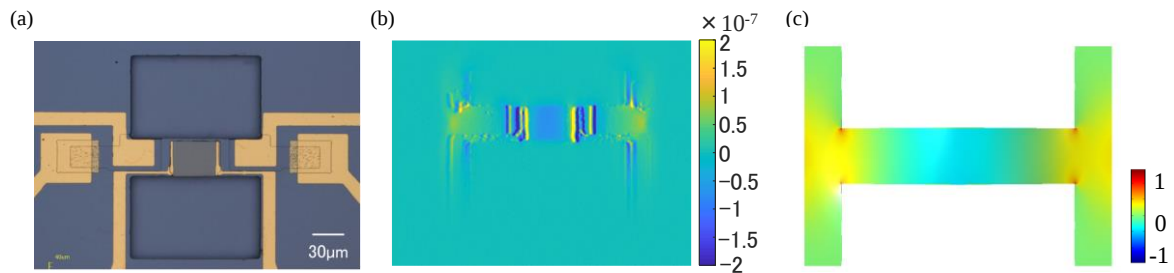


FIG 1. (a) microscope image of a fabricated MEMS beam resonator, which has a geometry of $100 \times 30 \times 1.2 \mu\text{m}^3$. (b). Calculated strain-displacement (ε). The different direction is along the beam direction. (c). The surface strain distribution of MEMS resonators was obtained through COMSOL Multiphysics simulations.

Reference

- [1] Mirai Iimori and Ya Zhang, "Two-dimensional measurement of resonance in MEMS resonators using stroboscopic differential interference contrast microscopy," Opt. Express 30, 26072-26081 (2022)

立体構造トランジスタ製造に対応した CMP プロセス制御技術の開発

Development of smart CMP process control technology for 3D-structured FETs

○笠嶋 悠司, 松川 貴, 上嶋 和也, 山岸 雅司, 林 喜宏

産総研(AIST)、先端半導体研究センター (SFRC)

○Yuji Kasashima, Takashi Matsukawa, Kazuya Uejima, Masashi Yamagishi, Yoshihiro Hayashi,
SFRC, AIST

E-mail: kasashima-yuji@aist.go.jp

産総研では、300mm 研究試作ラインであるスーパークリーンルーム (SCR) において、3 次元構造 FET (FinFET や GAAFET 等) のプロセス技術の研究開発を進めている。その基幹技術の一つである CMP において、インライン CMP エンドポイント検出 (EPD) と非破壊 3 次元形状検出 (垂直入射型 OCD[1]) を用いた CMP プロセス制御技術の開発を進めている。

図 1 に示すように、今回、EPD の一つとして光学式膜厚モニタ (SOPM (Spectrum Optical Endpoint Monitoring)) 方式を用いた。SOPM は研磨中のウェハに照射された光の反射光スペクトルまたはその変化から膜厚を算出する手法であり、その情報を基に研磨処理の終点を判定する。OCD 装置では評価対象構造に対して平行/垂直方向の偏光を照射し、反射率のスペクトルをライブラリと比較し、立体形状を計測する[1]。

図 2 に、リプレースメント型 High-k/Metal-gate (HKMG) -FinFET のダミーゲート a-Si 膜の CMP 平坦化に適用した結果を示す。OCD 測定による a-Si 膜の Bottom thickness 値と Top thickness 値の変化傾向が SOPM 膜厚値の変化傾向とほぼ一致した。このことは、SOPM 値と OCD 値とを紐づけることで、非破壊かつ迅速に、研磨残膜厚と 3 次元形状の検出が可能となることを意味し、CMP プロセスの短 TAT 開発に大きく資する。

参考文献：[1] Oleg Kritsun et al., Proc. of SPIE Vol. 6924, 69241M, (2008)

謝辞：この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業」（JPNP20017）の助成事業の結果得られたものです。

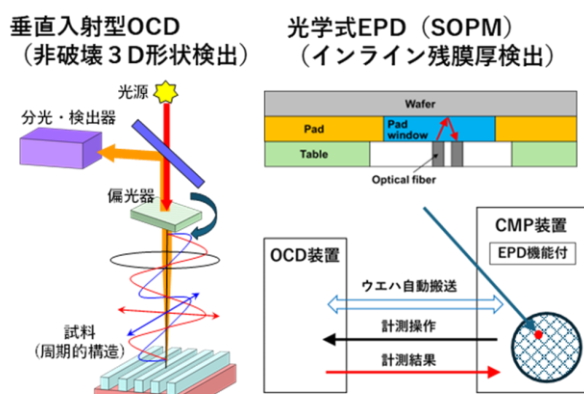


図 1 非破壊 OCD/SOPM 検出機能を具備した CMP 装置

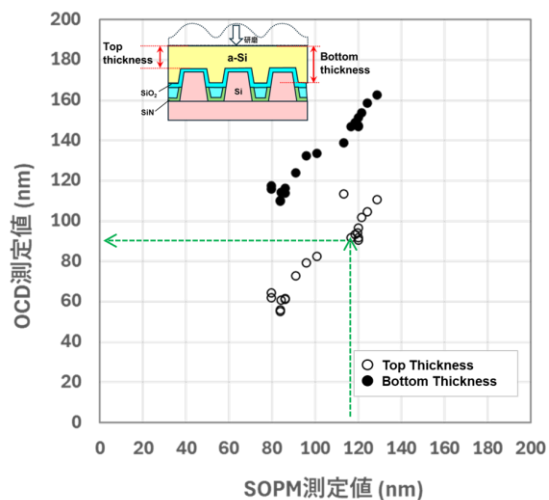


図 2 HKMG-FinFET のダミーゲート平坦化 CMP における a-Si の OCD 膜厚と SOPM 膜厚との関係