

共振式センサのためのトランスファプリントによる Au マイクロ振動子の作製

東京都立大学 ○春日祐人, ©金子 新

要旨

加工基板へ Au 薄膜をトランスファプリント (TP) して, 長さ 250 μm , 幅 150 μm , 厚さ 300nm のマイクロ振動子を作製した. 電圧印加による静電駆動ができることを実証し, かつインパルス応答によって減衰比を測定した. マイクロ振動子は FEM 解析値よりも低い共振周波数であった. これは Au 薄膜と基板の密着強度が低いためと考え, 原子拡散接合を援用した TP により密着性の高いマイクロ振動子の作製を行った.

1. 緒言

本研究では, トランスファプリント (以下 TP) によるマイクロ振動子の作製を試みている. マイクロ振動子は, 外力や吸着物による質量変化で共振周波数がシフトすることから, 加速度センサやガスセンサに応用できる. 一般にマイクロ振動子のような 3 次元立体構造は, 犠牲層エッチングを含む複雑な半導体プロセスで作製されるが, 著者らは図 1 に示す加工基板への TP でも両もち梁などの微小 3 次元構造が作製できることを実証した^[1]. 既報^[2]では, TP で作製した Au マイクロ振動子を静電駆動させることに成功した. そこで本研究では, TP によって作製したマイクロ振動子の振動特性を明らかにすること, さらに振動子 (薄膜) の密着強度を向上させるための原子拡散接合^[3]援用トランスファプリント (以下 ADA-TP)^[4]による振動子作製を目的とした.

2. トランスファプリントによるマイクロ振動子の作製

図 2 に作製工程を示す. 下部電極となる ITO 膜付きガラス基板に, ネガ型フォトリソ (RD1225, 昭和電工) を積層し, レーザ描画装置を用いて幅 250 μm の溝を作製したものを基板とした. 一方で, 幅 150 μm の凸部を有するスタンプを h-PDMS (VDT-731, Gelest) で作製し, 同スタンプに真空蒸着とスパッタによって Au を 300nm 成膜した^[2]. 基板に圧力 0.75MPa, 温度 150 $^{\circ}\text{C}$ で 10 分間接触させ, その後基板から剥離することで Au 薄膜を TP した.

図 3 に TP 後の基板を SEM で観察した結果を示す. 幅 150 μm , 長さ 250 μm , 厚さ 300nm の Au 薄膜が微細溝を架橋するように転写されている. 架橋部分の Au 薄膜はやや下方にたわんでおり, TP 時の圧力がやや過剰であったと考えられる. しかし, 先行研究とほぼ同様のマイクロ振動子の構造となっており, 本研究では同構造を利用して駆動を試みることにした.

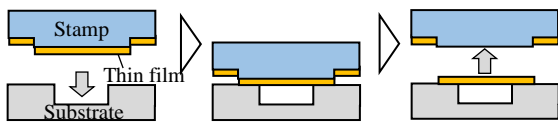


Fig. 1 Transfer printing

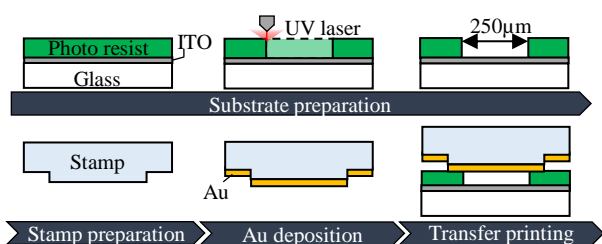


Fig. 2 Fabrication process of micro-oscillator

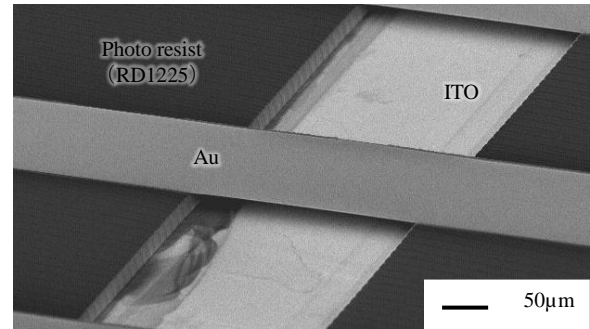


Fig. 3 Au micro-oscillator fabricated by transfer printing

3. マイクロ振動子の振動特性

図 4 に静電駆動の実験装置を示す. 前節で作製したマイクロ振動子および酸化インジウムスズ (ITO) と電源を接続し, 所定の交流電圧を印加した. マイクロ振動子の変位は, スポット径 $\phi 3.5\mu\text{m}$ のレーザ変位計 (CL-PT010, KEYENCE) を使用した.

はじめにインパルス電圧 (180V, 2ms) を印加して, マイクロ振動子の減衰波形を調べた. その結果を図 5 に示す. 式(1), 式(2)より減衰比 ζ を求めたところ, 減衰比 ζ は 0.166 となり, マイクロ振動子が共振することが確認できた. また, 各ピークの間隔 (周期) は 3.2ms 程度であり, この結果から推定される共振周波数は 0.3kHz 程度であった.

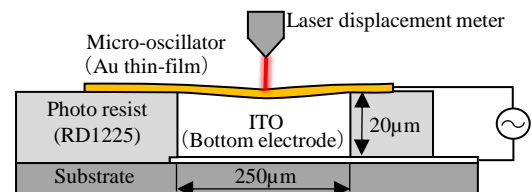


Fig. 4 Set up of electrostatic drive of micro-oscillator

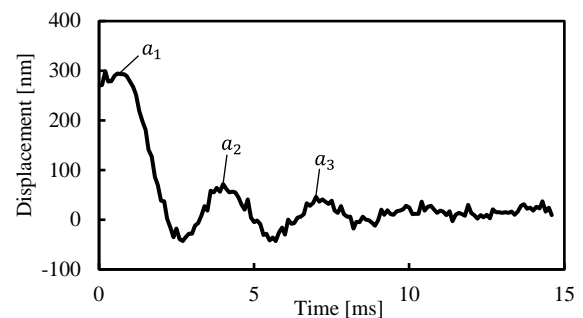


Fig. 5 Damping waveform of micro-oscillator

$$\delta = \frac{1}{3} \times \ln \frac{a_1}{a_3} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2)$$

次いで、正弦波の交流電圧 ($V_{pp}=150$ [V], $f=0.1\text{kHz}\sim 11$ [kHz]) を印加し、マイクロ振動子を振動させた。一方で、有限要素法 (COMSOL Multiphysics, 計測エンジニアリング) を用いて、マイクロ振動子の振動特性を解析した。なお、FEM 解析で対象としたマイクロ振動子は、直線形状の両端固定と両端支持、そして下方に 80nm 湾曲した形状の 3 種類とした。

周波数に対するマイクロ振動子の変位 (最大たわみ) の計測結果と、FEM 解析結果を図 6 と図 7 に示す。実験では 0.28kHz で共振と考えられるピークが確認された。この周波数は、図 5 のインパルス応答での結果と概ね一致している。一方で、FEM 解析によればマイクロ振動子の共振周波数は直線形状では 9.6kHz または 4.2kHz と、湾曲形状では 12kHz となった。すなわち、いずれの場合でも、実験結果よりも共振周波数が大きくなった。また、図 6 ではマイクロ振動子の変位 (たわみ) を正規化しているが、実測値では 370nm と FEM 解析値よりも 1000 倍程大きかった。以上から、マイクロ振動子が共振式センサへ応用可能ではあることを実証できたが、共振周波数や変位が解析結果と大きく異なっていた。この違いは、振動子を含む構造の内部欠陥や材料物性に起因していると考えられる。特に、前者は振動子である Au 薄膜と基板の密着性の低さ、後者は Au 薄膜の機械的特性 (ヤング率) が小さいことなどが考えられる。

4. 原子拡散接合援用 TP によるマイクロ振動子の作製

前述したように、Au 薄膜と基板の密着性は振動子特性に影響を及ぼしている可能性がある。そこで本研究では、図 8(a) に示す原子拡散接合を利用したトランスファプリントにより、Au 薄膜と基

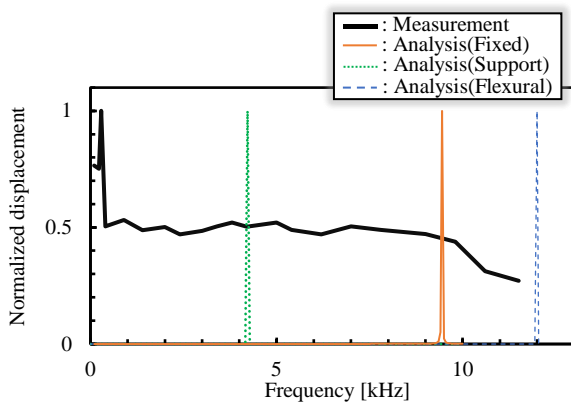


Fig. 6 Deflection of Au micro-oscillator

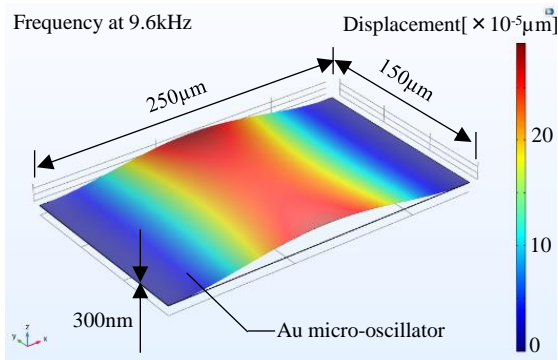


Fig. 7 FEM analysis of Au micro-oscillator

板の密着性を向上させたマイクロ振動子作製を試みた。作製工程を図 8(b) に示す。加工基板を UV/O₃ 処理 (ASM401M, あすみ技研) し、その後 Au を 30nm スパッタ成膜した。Au 薄膜 (膜厚 300nm) を成膜したスタンプを同基板に接触させ、圧力 0.7MPa 、温度 150°C で 5 分間静置させた。Au は表面エネルギーと拡散活性化エネルギーが同程度であるため、薄膜間で Au 原子が相互拡散して強固な接合となる。その後、スタンプを離すことで、Au 薄膜がトランスファプリントされる。

図 9 に上記プロセス後の基板を SEM で観察した結果を示す。図 3 と同様に、同サイズの Au マイクロ振動子を ADA-TP によっても作製した。今度は同マイクロ振動子による振動特性の評価を進める。

5. 結言

本研究では、共振式センサのためのマイクロ振動子を TP と ADA-TP によって作製した。また前者の振動子を静電駆動させ、減衰比と周波数特性を調査し、共振を確認することができた。

参考文献

- [1] A. Kaneko et al., Int. Journal of Automation Technology, 9, 4, (2015), 411-417.
- [2] 春日ほか, 2020 年度精密工学会秋季大会, (2020), 454-455.
- [3] 島津ほか, 精密工学会誌, 79, 8, (2013), 710-713.
- [4] 片山ほか, 2018 年度精密工学会春季大会, (2018), 13-14.

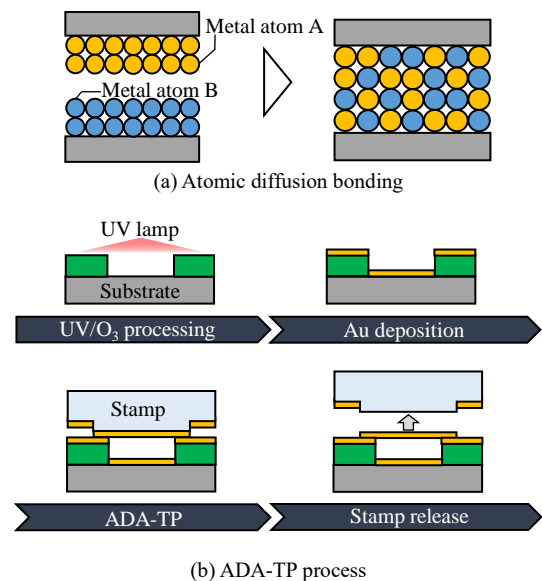


Fig. 8 Atomic diffusion bonding assisted transfer-print (ADA-TP)

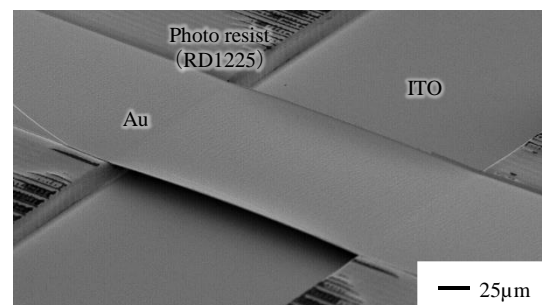


Fig. 9 Au micro-oscillator fabricated by ADA-TP