

シリコンウエハ表面の円曲加工技術開発

Micro rolling process on a silicon wafer surface

○青木 画奈¹、石黒 敬太²、出野上 真樹²、棚橋 雄也²、古澤 健太郎¹、関根 徳彦¹
阿尻 雅文³、藤井 稔²(1.NICT、2. 神大、3. 東北大)

○Kanna Aoki¹, Keita Ishiguro², Masaki Denokami², Yuya Tanahashi², Kentaro Furusawa¹, Norihiko Sekine¹, Tadafumi Adschiri³, Minoru Fujii²(1.NICT, 2.Kobe Univ., 3.Tohoku Univ.)

E-mail: kanna.aoki@nict.go.jp

[概要] 電子デバイスの基幹材料であるシリコン (Si) の加工技術は進化し続けているが、機械加工の曲げ加工に相当する技術はまだ不在である。本研究では、シリコンウエハ表面を陽極酸化法で多孔質化し、所定の形状にパターニングした後、水蒸気酸化を施すことにより、チューブ、ボウル、中空球などに円曲変形させる技術を開発した [1]。更に、構造力学の観点からパターン変形のメカニズムを解析し、任意の 3 次元構造体を得るための設計指針を確立した [2]。

[実験および結果] フッ化水素酸・エタノール混合溶液中で p 型 Si ウエハ ((100) 面、0.02 Ωcm) を陽極酸化する際、印加時間に対して電流値を 110 から 10 mA/cm へ一次的に減少し、Si 密度が深さ方向に 20 から 55% へ変化しているポーラス Si 層を形成した。その後、300 mA/cm の電流を 1.6 秒印加して犠牲層を形成した。フォトリソグラフィおよびウエットエッチングによりポーラス Si 層を任意形状にパターニングした後、水蒸気雰囲気下で 1,000℃、1 時間加熱し、ポーラス Si 層を完全酸化した。バルク Si がシリカへ酸化する際、127% の体積膨張を伴うが、形成したポーラス Si 層は、Si 密度に比例して深さ方向に体積膨張率が増加するため、酸化の際にポーラス層内に応力が発生し、応力緩和のために自発的に円曲変形した。ポーラス Si 層厚および大きさの異なる一連の長方形パターンを円曲変形させた走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を図 1 に示す。規則的な形状変化のメカニズムを理解するために、任意形状のポーラス Si 層の各方向から曲げ変形させる際に必要なモーメントについて検討した。曲げ方向の辺の幅 w 、厚さ t 、ヤング率 E のパターンが曲率半径 R の円弧状に変形する場合、変形の曲げモーメント M は

$$M = \frac{wt^3}{12} \frac{E}{R}$$

と表される。同一条件で形成したポーラス Si 層の t, E, R は共通であるので、曲げ方向のパターン幅 w が小さいほど、変形に必要なモーメントが小さく、ポーラス Si が酸化膨張する際に生じる内部応力によって変形させられ易い。つまり長方形の場合は頂点 > 短辺 > 長辺の順に変形が進む。最終的な円曲変形形状は、任意方向からの円曲変形が 1 周以上変形できるか否かで決まると仮定し、図 1 の構造を収束イオンビームで切断して、それぞれの R 値を測定し、その値を元に円曲構造の円周長と、矩形頂点から変形可能な距離の比を各パネルの右上に示した。この値が 1 を超える構造では頂点からの円曲変形が保持され、長辺長が十分に長い場合は長辺からの円曲変形を誘発した。1 未満の場合は、短辺側からの円曲変形が保持された。円、楕円、正方形パターンについても同様の解析を行い、解析値と実験結果がよく一致することを確認した。

[謝辞] 本研究は科研費基盤 A(2524918)、先端加工機械技術振興協会の助成を受けた。文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業（大阪大学微細加工プラットフォーム）および大阪大学フォトンクスセンターの支援を受けた。

[参考文献] 1. 信学技報 114, 95(2014), 2. Small 13, 1701630(2017).

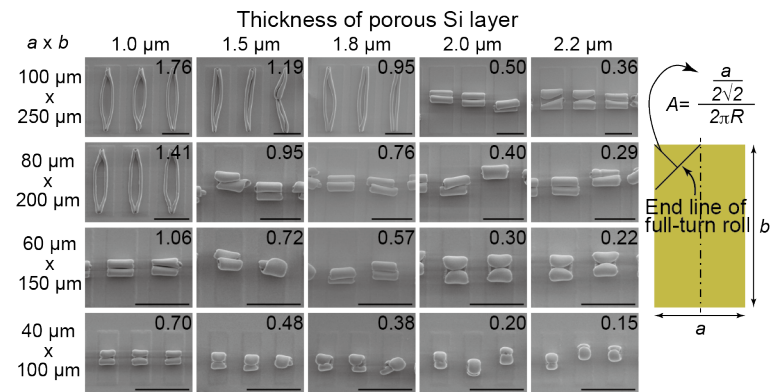


Fig. 1. SEM images of the rectangular porous Si patterns after the oxidation treatment. The numerical values at the top right of each column indicate the A factor values indicated in the schematic on the right side. Scale bars =100 μm