

メニスカス力を利用した中空構造シリコン膜の低温転写

Low-Temperature Layer Transfer of Silicon Films with Midair Cavity
Using Meniscus Force

広大院 先端研 ○酒池 耕平, 中村 将吾, 赤澤 宗樹, 福永 貴司,
森崎 誠司, 林 将平, 東 清一郎

Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University

°K. Sakaike, S. Nakamura, M. Akazawa, T. Fukunaga, S. Morisaki, S. Hayashi, and S. Higashi

E-mail: semicon@hiroshima-u.ac.jp

序＞これまでに、中空構造アモルファスシリコン(a-Si) 薄膜のレーザ転写技術を提案し、結晶化と同時に異種基板へ転写できることを報告してきた[1]。ポリエチレンテレフタレート(PET) 基板に代表される耐熱温度の低いプラスチック基板への転写を考えた場合、より低温で転写する必要がある。そこで、対向密着した中空構造 Si 膜と転写先基板との間に水を介在させ、水を乾燥させる過程で発生する強いメニスカス力を利用することで、Si 膜を転写先基板へ転写する方法を着想した。本研究では、中空構造 Si 膜を転写先 PET 基板へ低温転写する新たな手法として、メニスカス力を利用した Si 膜の転写を試みた。

実験＞プラズマ化学気相堆積(PECVD) 法により石英基板上に基板温度 250℃ で a-Si 膜を 100 nm 堆積した。一部の試料は、a-Si 膜を N₂ 雰囲気中 750℃ で 4 時間アニールすることにより結晶化率 63% の微結晶 Si (μc-Si) 膜を作成した。これら試料を、フォトリソグラフィ、ドライエッチング(CDE) により、1 μm × 4 μm の開口を 9 μm 間隔でパターンニング後、33% の HF にて下層石英基板を細い石英柱が形成されるまで約 4 分間エッチングすることにより中空構造 Si 膜を作製した。このとき、Si 膜と石英の接触面積が 1 μm × 1 μm となるように石英柱を形成した。この試料と、転写先 PET 基板とを 8 μL の純水を介して対向密着させ、80℃ のホットプレート上で約 15 分間乾燥させることにより Si 膜の転写を試みた。

結果及び考察＞乾燥後、図 1 に示すように作製した中空構造 a-Si 膜 10 mm × 10 mm 全てが転写先 PET 基板上に転写されていることが確認でき、図 2 挿入図(a)および(b)に示す転写前後の光学顕微鏡像から、転写 Si 膜は転写前の形状を完全に維持したまま転写されていることがわかった。また、μc-Si 膜の転写を同様の方法で試みたところ、転写前の形状および結晶性を維持したまま PET 基板へ転写できることを確認した。このような転写メカニズムを考察する為に、転写元石英基板裏面から水の乾燥過程を観察したところ、2 段階の乾燥過程が観察された。この観察結果から、図 2 に示すようなメカニズムによって Si 膜が転写されたと考えることができる。まず、中空構造領域を満たしている水が蒸発し、Si 膜と転写先 PET 基板間にのみ水が残る。このとき、水は Si 膜と PET 基板間に毛管架橋を形成し、Si 膜に強いメニスカス力(F)が働く。ここで、Si 膜と PET 基板との間隔(架橋の高さ)を H 、水の接触角を θ_E 、水の表面張力を γ 、毛管架橋の半径を R とするとメニスカス力 F は、以下の式で表される[2]。

$$F = \pi R^2 \gamma \left(\frac{1}{R} - \frac{\cos \theta_E}{H/2} \right) + 2\pi R \gamma \sin \theta_E \approx \frac{\pi R^2 2\gamma \cos \theta_E}{H} \quad (H \ll R)$$

各パラメータの値を、 $\theta_E = 46.2^\circ$ [3]、 $\gamma = 63 \text{ mN/m}$ [4] および $R = 4.5 \mu\text{m}$ と仮定すると、 F の H 依存性は図 3 のようになり、この結果から、 H の減少に伴い F が急激に増大することがわかる。すなわち、(2) 中空構造領域を経路にして、水の蒸発が進み H が減少すると、Si 膜に働く F が急激に増大し、このとき、 F が図中に示す Si と SiO₂ との結合力(0.098 ~ 0.29 mN) [5]を上回ること、Si 膜が転写先基板に転写されたと考えることができる。

結論＞水の表面張力によるメニスカス力を用いることで、中空構造 Si 膜を PET 基板の耐熱温度以下で転写できることを明らかにした。

謝辞＞本研究の一部は広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所(RNBS)の施設を用いて行われ、最先端・次世代研究開発支援プログラム(NEXTプログラム)の下に行われた。

[1] 酒池 他, 第60回春季応用物理学会学術講演会, 29a-A3-5. [2] H. Taura et. al., : Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers. Series, C Vol.78 No.790 (2012) 2266. [3] V. Hrivňáková et. al., : Chem. Papers. 38 (1984) 731. [4] William V. Kayser: J. colloid interface sci. 56 (1976) 622. [5] F. Sugimoto et. al., : Jpn. J. Appl. Phys. 31 (1992) 975.

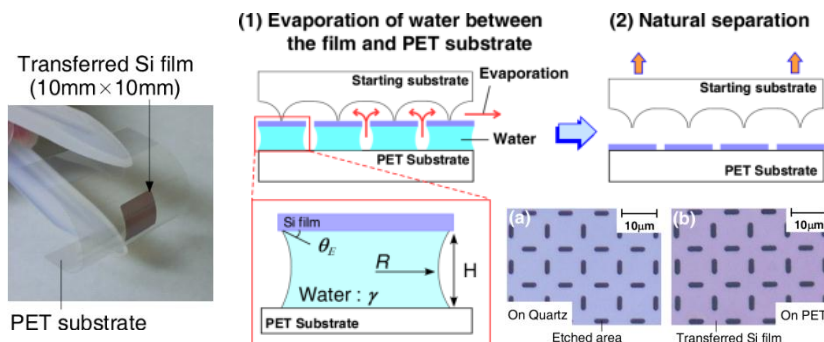


Fig. 1 Photograph of transferred Si films on a PET substrate.

Fig. 2 Schematic illustration indicating transfer mechanism of Si film with midair structure by the meniscus force. Optical microscope images of (a) before and (b) after transfer.

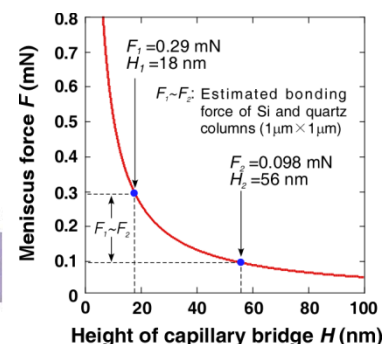


Fig. 3 The calculated value of the meniscus force as a function of the height of capillary bridge.