

メニスカス力を用いた中空構造 SOI 層の低温転写と フレキシブル基板上での単結晶シリコン TFT の作製

Low-Temperature Transfer of SOI Layer with Midair Cavity by Meniscus Force and Its Application to Single-Crystalline Silicon TFT Fabrication on a Flexible Substrate

広大院 先端研¹, 学振特別研究員 PD², 広大ナノデバイス・バイオ融合科学研究所³

酒池 耕平^{1,2}, 赤澤 宗樹¹, 小林 義崇¹, 中村 将吾¹, 東 清一郎^{1,3}

Grad. School of AdSM, Hiroshima Univ.¹, JSPS Research Fellow PD², RNBS, Hiroshima Univ.³

°K. Sakaike^{1,2}, M. Akazawa¹, Y. Kobayashi¹, S. Nakamura¹ and S. Higashi^{1,3}

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

序>曲げたり丸めたりすることができるディスプレイや太陽電池に代表されるフレキシブルエレクトロニクスは、基材の柔軟性を生かすことで新しいエレクトロニクス領域を創成できる可能性を秘めており、世界中で高性能フレキシブルエレクトロニクスの実現に向けた研究開発が盛んに行われている。近年、電子ペーパーに代表されるようなフレキシブルディスプレイが実現され始めている背景には、有機や酸化物材料をチャンネル層に用いた有機薄膜トランジスタ(TFT)や酸化物 TFT 作製技術の飛躍的な進歩がある。有機や酸化物 TFT は、低温での作製が可能であり、ガラス基板よりも更に低いプロセス温度が要求されるフレキシブル基板上での TFT 作製において、これら材料を用いた低温プロセス技術は最も重要な技術の一つとして位置付けられている。一方、結晶シリコン(Si) TFT は有機や酸化物材料を用いた TFT に比べ、高い電界効果移動度、信頼性を持ち、また、相補型金属酸化膜半導体(Complementary Metal Oxide Semiconductor : CMOS)を用いた回路を構成できるなど、多くのメリットを有している。このような高い性能を有する結晶 Si デバイスをフレキシブル基板上の必要な位置に局所的に形成することが可能となれば、上述した有機や酸化物デバイスとの併用または、融合により集積回路とセンサなどの異種デバイスを一括搭載するシステム集積化技術の新たな可能性を見出すことができ、より広範なエレクトロニクス領域の創成が可能になると考えられ、フレキシブルエレクトロニクスの飛躍的な進歩が期待できる。しかしながら、耐熱温度(200°C以下)が低いフレキシブル基板上で高温プロセス(300°C以上)が必要な結晶 Si デバイスを実現する為には、これまでにない新しい技術・手法を確立する必要がある。そこで、この課題を解決する新たな技術として、“中空構造 Si 膜を用いた低温転写技術”を提案し、本転写技術によりフレキシブル基板の耐熱温度以下で結晶 Si 膜をフレキシブル基板上に転写形成できることを実証・報告してきた [1-5]。これは、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、水が蒸発する過程で発生する強いメニスカス力を利用して、Si 薄膜を転写元基板から転写先フレキシブル基板(polyethylene terephthalate: PET)へ低温(80°C)で転写する方法である。ここで、中空構造 Si 膜は、細い石英柱(もしくは SiO₂ 柱)で支えられた基板との接触面積が極めて小さい Si 膜と定義している。以下に実験方法の概略を記す。

実験方法>まず、SOI(Silicon on Insulator)基板[SOI 層: p-type Si(100), 10-30 Ω·cm]を、3 μm × 5 μm のライン両端に 20 μm × 20 μm の正方形を配置したドッグボーン形状にパターンニングする。ここで、ライン両端の SOI 層は 2 μm × 2 μm のスペースを 3 μm 間隔で配置した網目形状としている。次に、BOX 層(SiO₂ 層)を 33% の HF にて約 1 分 30 秒エッチングすることにより SiO₂ 柱に支えられた中空構造 SOI 層が形成できる。この中空構造 SOI 層と転写先 PET 基板とを水を介して対向密着させ 80°C のホットプレート上で水分を蒸発させることにより上述したメニスカス力(F)を誘起し、その後、基板を分離することで SOI 層を PET 基板へ転写する(Fig.1)[3]。

結果>転写前後の光学顕微鏡写真を Fig.1(a)、および Fig.1 (b)に示す。この結果から、転写前の位置および形状を維持したまま単結晶 Si(c-Si) 膜が PET 基板上に転写されていることが確認できる。更に、本低温転写技術の有用性を確認する為、PET 基板上で転写 c-Si 膜を用いた TFT の作製を試みた。作製した c-Si TFT ($n = 20$)の I_d - V_g 特性、および実際に作製した TFT の写真を Fig.2 に示す。TFT 寸法は、 $L = 3.7 \mu\text{m}$ 、 $W = 3.0 \mu\text{m}$ としている。この時のピーク電界効果移動度(μ_{FE})およびスレッシュホールドスイング(S)の平均値はそれぞれ、 $408 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ および 67 mV/dec. を示し、本低温転写技術を応用することで、フレキシブル基板の耐熱温度以下に必要な位置に局所的に高性能 Si 電子デバイスの作製が可能であることを実証した[3-5]。

記念講演では、上述の受賞講演内容に加え研究進捗と、今後の展開および展望について述べる予定である。

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)および、JSPS 科研費 252156 の助成を受けて行われた。References: [1] K. Sakaike et al., Jpn. J. Appl. Phys. **52**, 05EC01-1 (2013). [2] K. Sakaike et al., Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 040303-1 (2014). [3] K. Sakaike et al., Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 018004-1 (2014). [4] 酒池 他, 第 36 回春季応用物理学会学術講演会, (19a-D2-11). [5] K. Sakaike et al., Applied Physics Letters, **103**, 233510-1 (2013).

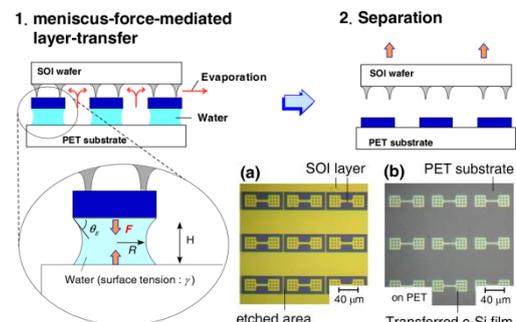


Fig. 1 Schematic illustration indicating transfer mechanism of Si film with midair cavity by the meniscus force. Optical microscope images of (a) before and (b) after transfer. [3-5]

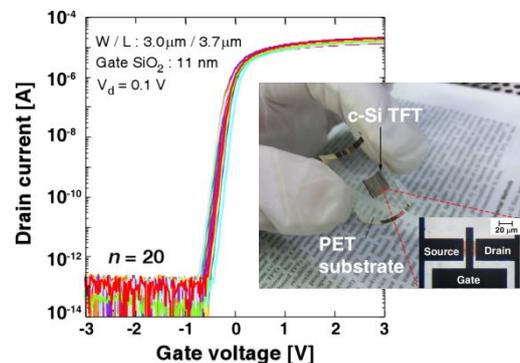


Fig. 2 Characteristics of 20 TFTs fabricated on PET with transferred SOI layer. The photograph shows a photograph of the flexible TFTs sheet. [4,5]