

【助成 40-26】

接合形成と機能発現を同時に成す半導体界面材料工学

研究者 京都大学工学部 准教授 田辺 克明

〔研究の概要〕

半導体製品の製造プロセスには、高性能化のための高密度化・微細化や低コスト化のための生産効率の向上を満足させる技術が求められる。流体自己集積は基板(リリーサ基板)上に作成された薄膜状デバイスを液体中で単離し、ターゲットとなる、ポケットが格子状に配置されたホスト基板(レシーバ基板)上に集積させる手法であり、そのような要求を満たしうる技術である。本研究では、流体自己集積技術において、集積効率を評価する収率、選択率、総括収率を新たに定義し、「酸化膜の導入による薄膜-基板間引力の制御」と「集積後のリンス工程による外力付与」の2つの集積法によって厚み 200 nm の微小 Si 薄膜の高効率集積法について検討した。

〔研究経過および成果〕

1. 緒言

流体自己集積(Fluidic Self-Assembly, FSA)は基板(リリーサ基板)上に作成された薄膜上デバイスを液体中で単離し、ターゲットとなる、ポケットが格子状に配置されたホスト基板(レシーバ基板)上に集積させる手法である。過去の FSA の研究例として GaAs や Si を用いた例が報告されているが[1], 集積方法については定量的な評価がされておらず、微細化についても数十 μm 程度までにとどまっていた。本研究では単離されたデバイス状薄膜の集積効率を表す評価関数(収率, 選択率, 総括収率)を新たに定義し, 厚さ 200 nm, 数 μm 四方の微小 Si 薄膜の高効率集積を目指して(A)「酸化膜の導入による薄膜-基板間引力の制御」と(B)「集積後のリンス工程による外力付与」の効果を検討した。

2. 実験方法

本研究では, Si ウエハと Silicon - On - Insulator ウエハ(SOI ウエハ)をフォトリソグラフィーによって加工し,

FSA の実験を行った。Fig.1 のようにリリーサ基板とレシーバ基板を作成し, リリーサ基板をエタノールで希釈した HF 水溶液に 30 分間浸漬することで Si 薄膜を液体中で単離し, Si 薄膜の分散液を作成した。その後, (A)の実験では, レシーバ上の酸化膜が溶解しないようにエタノールで分散液を希釈したのちに酸化膜付き SiO₂ レシーバを投入し, 20 時間浸漬することによってレシーバ上に Si 薄膜を集積した。加えて, 対照実験として, 希釈していない分散液に Si レシーバを投入し, 同様に浸漬した。(B)の実験では, 希釈していない分散液中に Si レシーバを投入し, 20 時間浸漬することでレシーバ上に Si 薄膜を集積したのちに, 純水中で Si 薄膜集積後のレシーバを 4 種類の回転数で 10 秒間リンスを行った。

3. 結果と考察

集積効率を評価する収率 Y , 選択率 S , 総括収率 YS を以下のように定義した。

$$Y = n_D/n_I, S = n_P/n_D, YS = n_P/n_I$$

ここで、 n_D 、 n_T 、 n_P はそれぞれレシーバ上に集積された Si 薄膜数、分散液中の Si 薄膜数、レシーバの pocket に集積された Si 薄膜数であり、 n_T は Si 薄膜分散液を全量滴下した Si ウエハの観察により算出した。

実験結果において、pocket の広さに関わらず、レシーバに酸化膜を導入することで選択率の大幅な向上が見られた。これは、Si-(溶媒)-Si 界面に働く分子間力に比べて、Si-(溶媒)-SiO₂ 界面に働く分子間力が小さいこと[2]によって、pocket-Si 薄膜間により大きな分子間力が働くと考えられるためである。一方で SiO₂ が HF に溶解されないようにエタノールを添加するため Si レシーバに比して収率、総括収率が大きく低下することが分かった。

5 種類の pocket の大きさによる実験結果において、リンスを行うことで溶媒から Si 薄膜に外力が付与され、pocket と Si 薄膜の衝突確率が上昇し、加えて pocket 外の Si 薄膜が溶媒中に分散されることで選択率の増加と収率の減少が起こった。また、回転数をさらに増やすことで Si 薄膜の溶媒への分散が優位になり、選択率のピークが見られた。そしてその点で総括収率も最大となった。

4. 結言

集積効率を定量的に評価する評価関数を新たに設定した。また、2 μ m 四方の Si 薄膜の FSA では 50rpm でリンスを行うことで高い選択率と総括収率を達成することができた。

5. 参考文献

[1] J.K. Tu et al, “Fluidic self-assembly of InGaAs

vertical cavity surface emitting lasers onto silicon”, ELECTRONICS LETTERS, 31, 1448–1449, (1995)

[2] M. Matsuo et al, Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ. 58, 523 (1981).

〔発表論文〕

1. Y. Fujita and K. Tanabe, “ Experimental considerations for integration method of Si thin-film microchips for fluidic self-assembly”, Japanese Journal of Applied Physics 62 (8), 086501 (2023).