シリコンナノピラー熱酸化の TEM トラッキング評価 **TEM Tracking Study of Silicon Nanopillar Oxidation** 慶大理エ¹, グローバルウェーハズ・ジャパン², 東北大 CIES³, JST-ACCEL⁴ ^O和光 拓人¹, 仮屋崎 弘昭², 黒田 周¹, 宮本 聡¹, 藤森 洋行², 遠藤 哲郎^{3,4}, 伊藤 公平¹ Keio Univ.¹, GlobalWafers Japan², CIES Tohoku Univ.³, JST-ACCEL⁴ ^oTakuto Wako¹, Hiroaki Kariyazaki², Makoto Kuroda¹, Satoru Miyamoto¹, Hiroyuki Fujimori²,

Tetsuo Endoh^{3,4}, Kohei M. Itoh¹

E-mail: takuto.wako@keio.jp

【研究背景】 近年,シリコン MOSFET は微細化に伴って短チャネル効果によるリーク電流が深 刻化し、超低消費電力化と高度集積化の両方の達成が期待される縦型 BC-MOSFET 構造の研究が 進められている[1]. ピラー状のナノ構造にゲート酸化を施すと, ピラー内部のシリコン(Si)の総原 子数が減少する Si ミッシング現象を併発し[2], 場合に依っては縦型チャネルの断裂を招く可能性 があるため、ピラー酸化の精密なプロセスモデリングにはこの現象の解明が不可欠である[3]. 最 近では、集束イオンビーム加工と透過電子顕微鏡(TEM)を駆使して、薄片化したナノピラーの断面 形状が詳細に検証される一方[4], 理論的にはピラーの幾何学的効果や内部歪み効果により Si ミッ シングが生じている可能性が指摘されている[5].本研究では、ピラー個々のサイズ揺らぎによる 測定誤差を抑えるため, Si ナノピラー側面から非破壊的に TEM トラッキング観察し, 同一ピラー に対する酸化前後の形状や構造の変化を精密に評価する手法を確立した.

【実験】 本研究では, 縦型 BC-MOSFET 作製時と同様の 300 mm プロセスで流動され, [110]方向 にパターン配列した,直径 70-90 nm,高さ~200 nm を有する Si ナノピラー構造を用いた[4].フ

オトパターニング後,80 ℃の TMAH 溶液を用いた異方性エ ッチングにより、[010]方向に伸びたメサ構造(幅~5μm)へと 加工し,側面 TEM 観察する[100]方向にピラーが重ならない ようにメサ構造周囲のパターンを間引きした[Fig. 1(a)]. 次に ダイシングでメサ構造に平行に,幅 W~160 µm,長さL~2900 um を持つ細長い TEM 観察用チップ試料へと切り出した[Fig. 1(b)]. その後, ドライ酸化前後で同一の Si ナノピラーを TEM トラッキング観察し、各設計水準に対して 10-20 本近くの ピラーを直接比較した. ここで,酸素分圧 1 atm,酸化温度 800, 900, 1000 ℃とし, 酸化時間は平面部の酸化膜厚が 40 nm となるように設定した.

【結果】900 ℃,~3 hrのドライ酸化前後での,同一Siナノ ピラー(直径 ~ 70 nm) に対する側面 TEM 観察結果を Figs. 1(c)-1(d)に示す. 酸化後の TEM 像ではピラー周囲に Si 酸化 膜が形成されており、高いコントラストでピラーコアと酸化 膜の界面が判別される.またレファレンスとして同時に酸化 したベアの Si 基板では分光エリプソメトリーで~ 36 nm を示 し、酸化ピラーの下部の基板表面位置の変化とも一致してい る. ピラー上部にある半円状の膜はピラー作製時の SiN ハー



Fig. 1: (a) Si nanopillar patterns standing on mesa-etched structure. (b) TEM chip specimen for tracking study of Si nanopillar oxidation. Side-view TEM images of identical Si nanopillar recorded (c) before and (d) after dry oxidation at 900 °C for ~3 hrs

ドマスクであり、酸化時には酸化保護膜として働いていることが分かる.このマスク界面の下側 を基準とすることで、同一ピラーの各高さ位置に対し、コア直径および酸化膜厚、Si 総原子数の 変化をトラッキングしながら TEM 観察評価することが可能となった.

謝辞:本研究は戦略的創造研究推進事業JST-ACCEL(JPMJAC1301)の助成を受けて実施した. 参考文献:

[1] T. Endoh et al., IEICE Trans. Electron. E93-C, 557 (2010). [2] Liu et al., J. Vac. Sci. Technol. B 10, 2846 (1992). [3] H. Kageshima et al., Jpn. J. Appl. Phys. 55, 08PE02 (2016). [4] E. Fukuda et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. 15, 127 (2017). [5] H. Kageshima et al., Jpn. J. Appl. Phys. 57, 06KD02 (2018).