

新構造トランジスタと集積化技術

処理能力向上: デバイスの高速化

周波数特性向上

面積当たりの駆動電流, I_{drive} 増大

多様化する高速・低消費電力デバイス

微細プロセスコア技術

テラ情報処理のための新構造トランジスタ

(1) 集積デバイス基盤技術

- ・デュアルメタルゲート
仕事関数制御
- ・極浅ソース・ドレインによる
短チャネル効果抑制

- ・原子層成長high-k絶縁膜と
原子層成長Si窒化膜の
スタック構造のゲート絶縁膜

しきい値制御

減少抑制

増大

増大：10倍以上

I_{drive}

ϵ
 t

μ
 L

W

(2) 三次元立体MOSデバイス

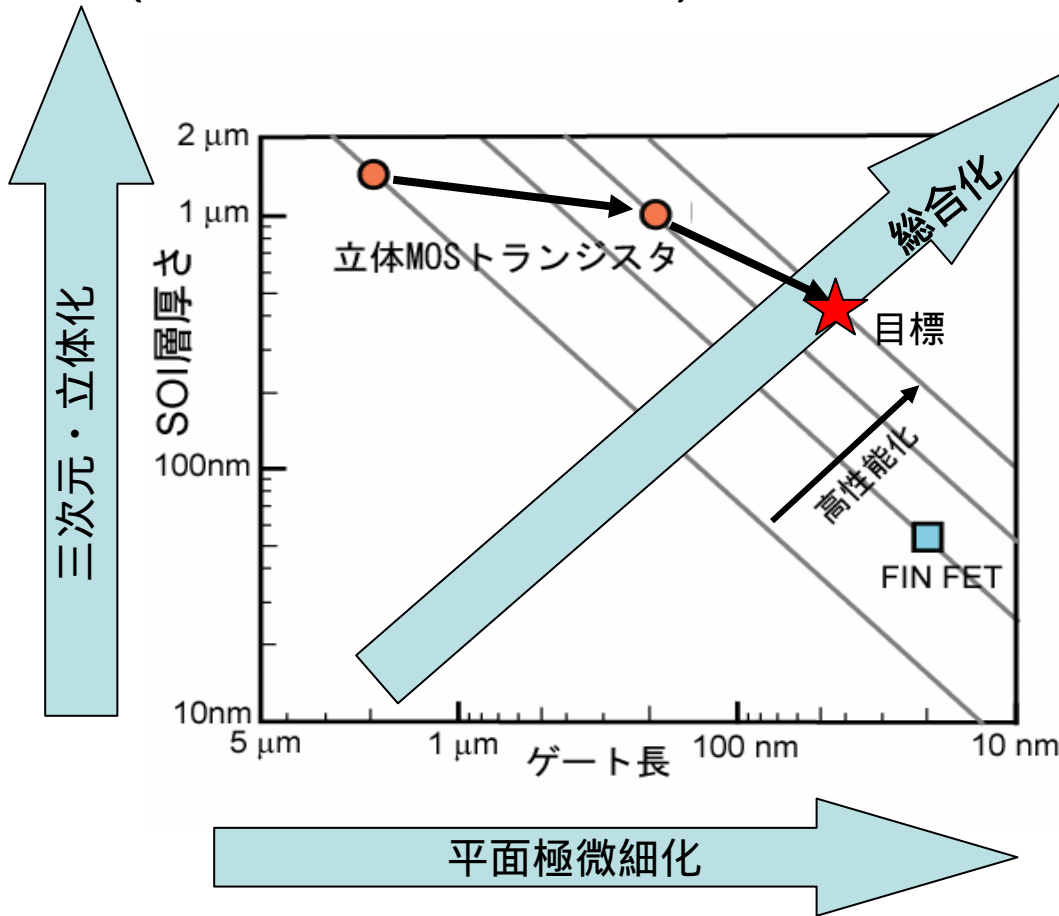
- ・小面積でゲート幅 W を拡大で、
面積当たりの電流増大
電力制御回路に適用

μ : キャリヤ易動度
 ϵ : ゲート絶縁膜厚誘電率
 W : ゲート幅
 L : ゲート長
 t : ゲート絶縁膜厚

デバイス・プロセス研究課題の相互関連

立体MOSトランジスタ
(小面積大電流トランジスタ)

無線あるいは光による三次元配線
モデリングによる性能予測
量子ドット立体集積構造
(多値不揮発性メモリ
超高感度光検出器など)



ALD high-kゲート絶縁膜
ALD窒化ゲート絶縁膜
デュアルメタルゲート
極浅ソース・ドレイン
直接パターンニングLow-k膜

新構造デバイス・微細化基盤技術

1. 三次元 ビームチャネルトランジスタ (Beam Channel Transistor)

- with high current driving capability

aiming at applications to power control with small chip area.

2. 仕事関数制御 NiSi ゲート MOSデバイス

- NiSi workfunction tuning method by Sb pre-doping to poly-Si before silicidation

3. High-k 絶縁膜形成 原子層成長(ALD)技術

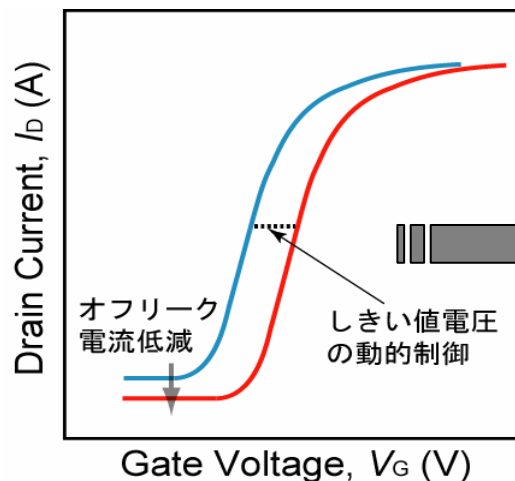
- Si-nitride/SiO₂ stack gate dielectrics for future scaled DRAMs.
- Enhanced reliability in NBTI was achieved.

立体3並列ゲートトランジスタの提案

VLSI回路における
消費電力の問題

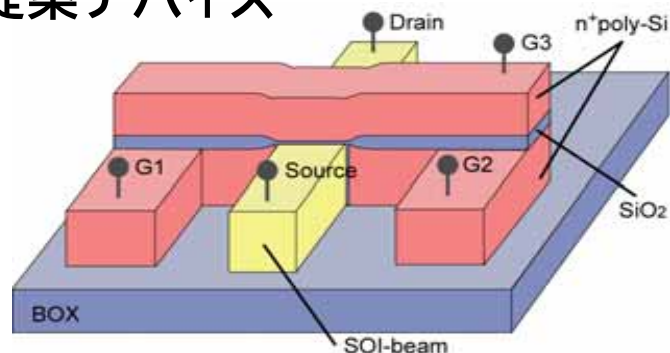


個々のデバイス特性制御
による最適化の重要性



しきい値電圧の動的
制御による待機電力
低減効果

提案デバイス

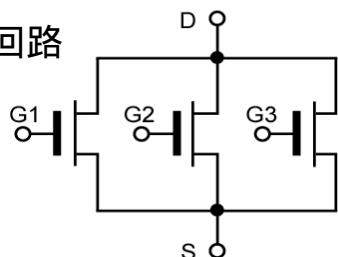


SOIビームに独立した三つ
のゲート電極を形成



各ゲートに独立に電圧を印可

等価回路



単一MOSFET



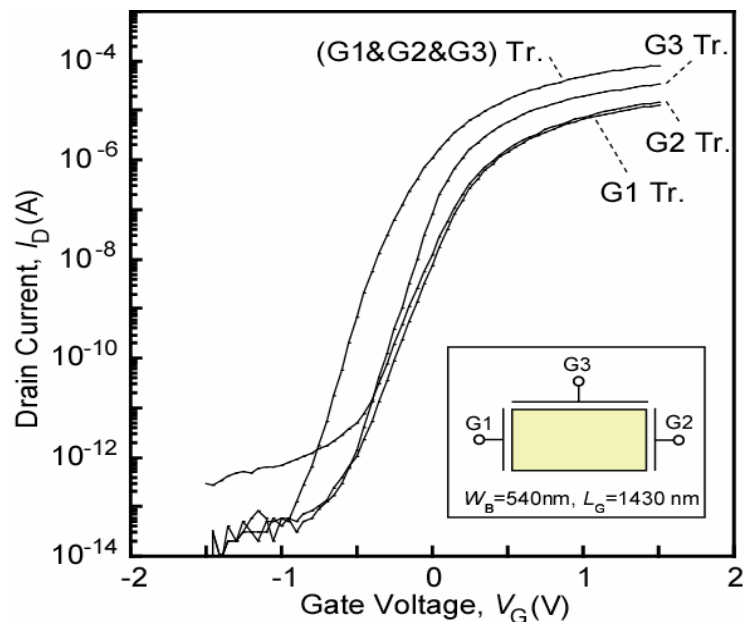
基板バイアスによる
デバイス特性の動的制御

三並列MOSFET



回路面積の縮小

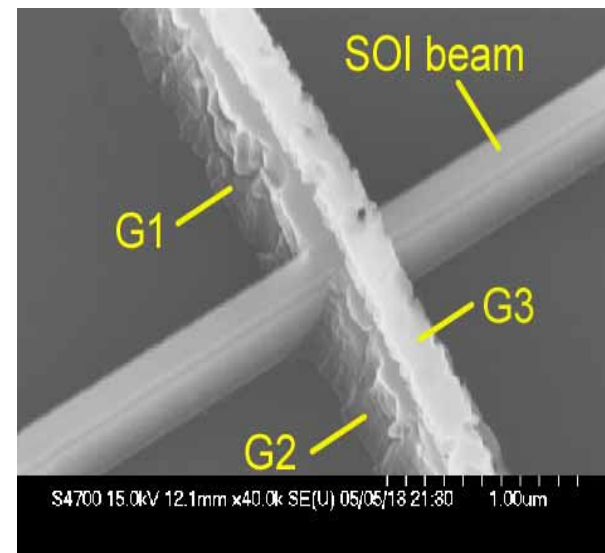
立体3並列ゲートトランジスタの試作に成功



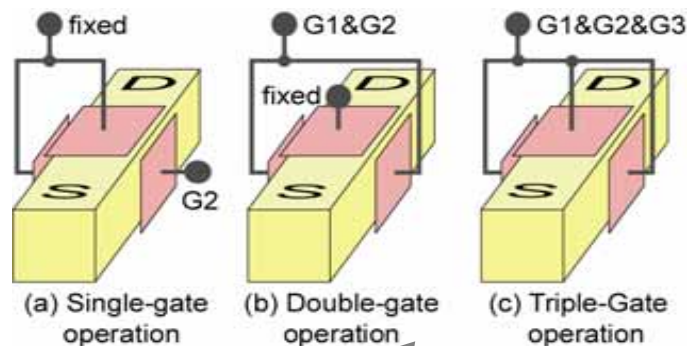
各ゲートによる電流制御動作を確認

(非動作ゲートの印可電圧を-1Vに固定)

試作デバイスのSEM像



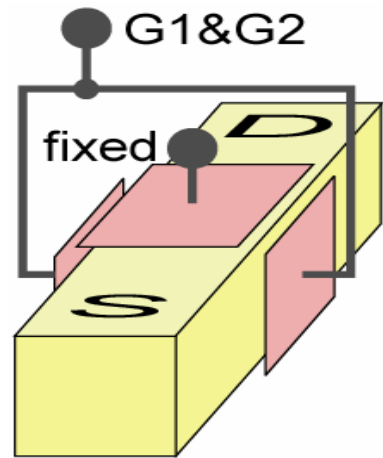
独立ゲートにより実現される三つの動作モード



固定値の印可電圧を変えることによるデバイス特性の制御

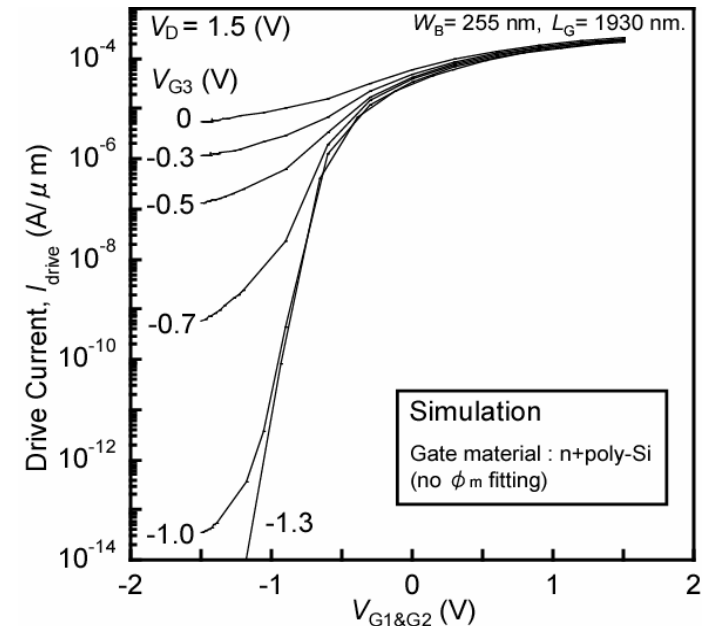
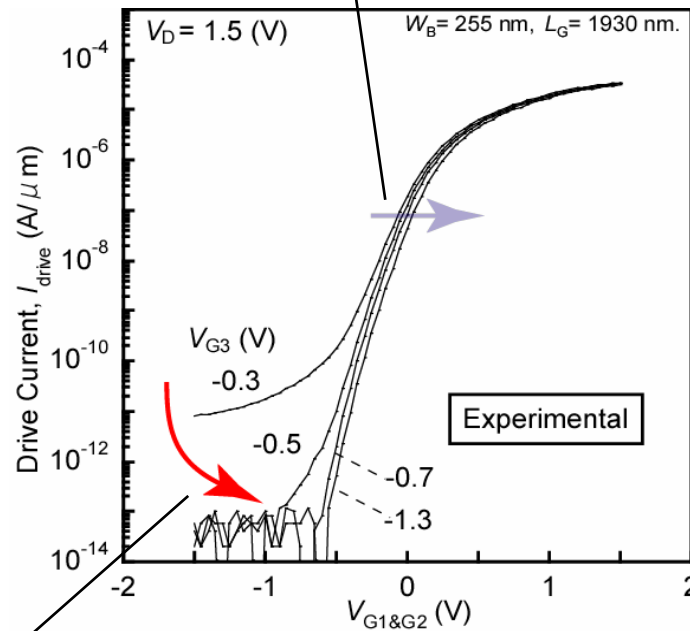
ダブルゲート動作におけるデバイス特性制御

固定値(V_{G3})を変化



(b) Double-gate operation

しきい値電圧変化



オフリーク電流低減

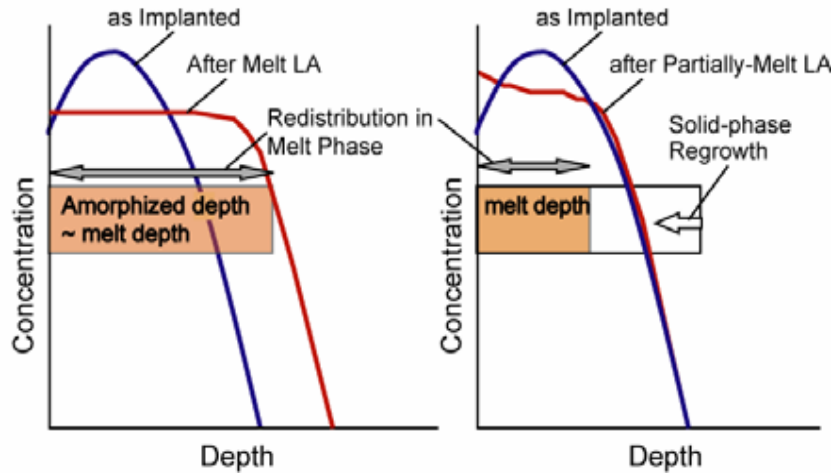
デバイスシミュレーション*より期待される
オフリーク電流低減効果, しきい値電圧変動を確認

*DESSIS, ISE TCAD, release 9.5, Synopsys Co.,Ltd

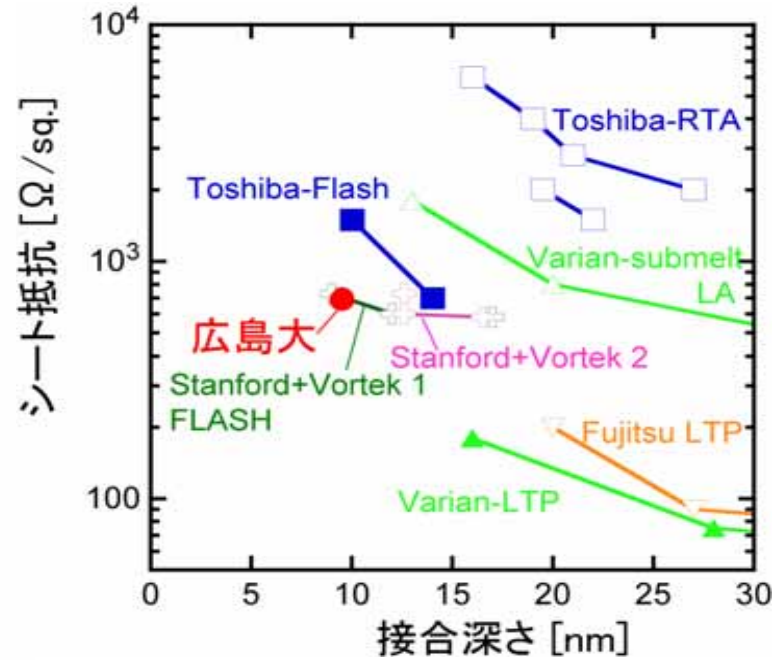
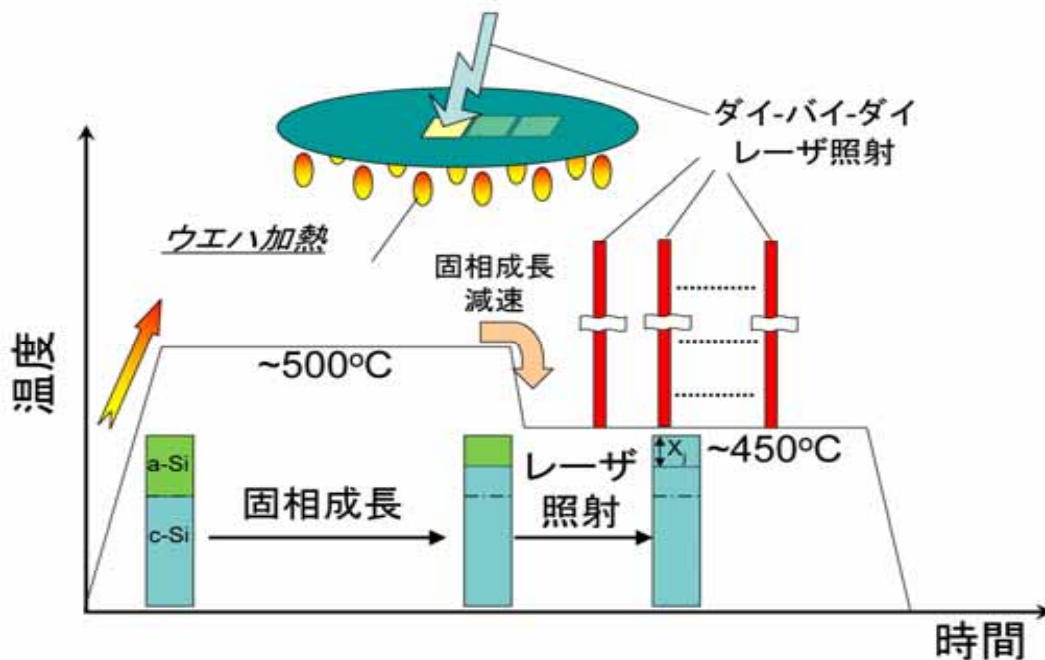
新構造デバイス・微細化基盤技術

1. 三次元 ビームチャネルトランジスタ (Beam Channel Transistor)
 - ・with high current driving capability
 - aiming at applications to power control with small chip area.
2. 仕事関数制御 NiSi ゲート MOSデバイス
 - ・NiSi workfunction tuning method by Sb pre-doping to poly-Si before silicidation
3. High-k 絶縁膜形成 原子層成長(ALD)技術
 - ・Si-nitride/SiO₂ stack gate dielectrics for future scaled DRAMs.
 - ・Enhanced reliability in NBTI was achieved.

部分溶融レーザーアニール(PMLA)法の提案



極浅低抵抗接合形成に適した新しいレーザーアニール法、部分溶融レーザーアニール法(Partial Melt Laser Anneal)を提案。低温固相成長を組み合わせることで、Siの極く浅い表面付近のみを溶融させることが特徴。

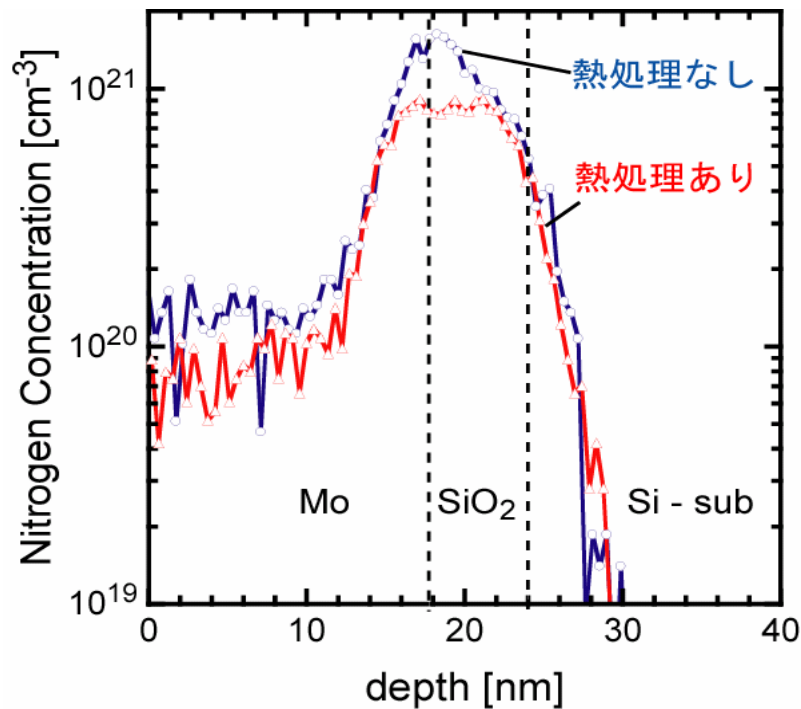


シート抵抗と接合深さのベンチマークで世界最高水準を達成。

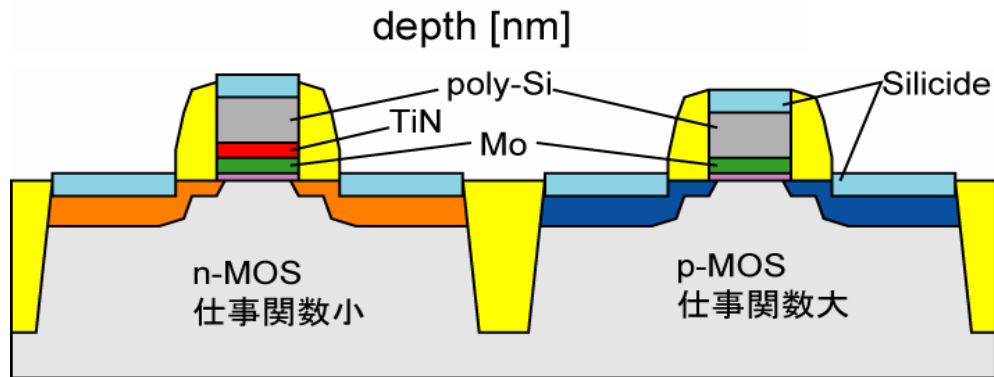
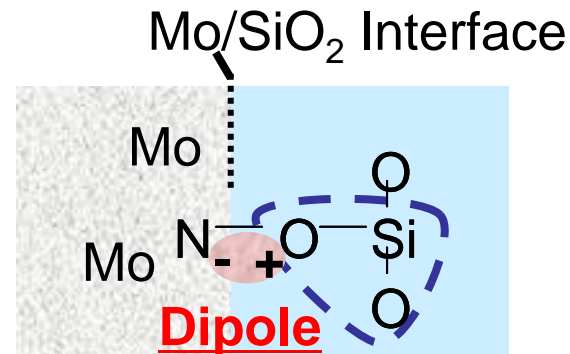
国際会議招待講演2回([10,18])

CMOSデバイスのためのMoゲート仕事関数変調の研究

Mo上に堆積させたTiNからNを固相拡散させMoの仕事関数変調させる手法を初めてデバイスに適用。



仕事関数変調が界面にパイルアップしたNによることを明らかに(左上図青線)。→ 電気陰性度差に基づく双極子形成モデルを提案。国際会議[8]で発表



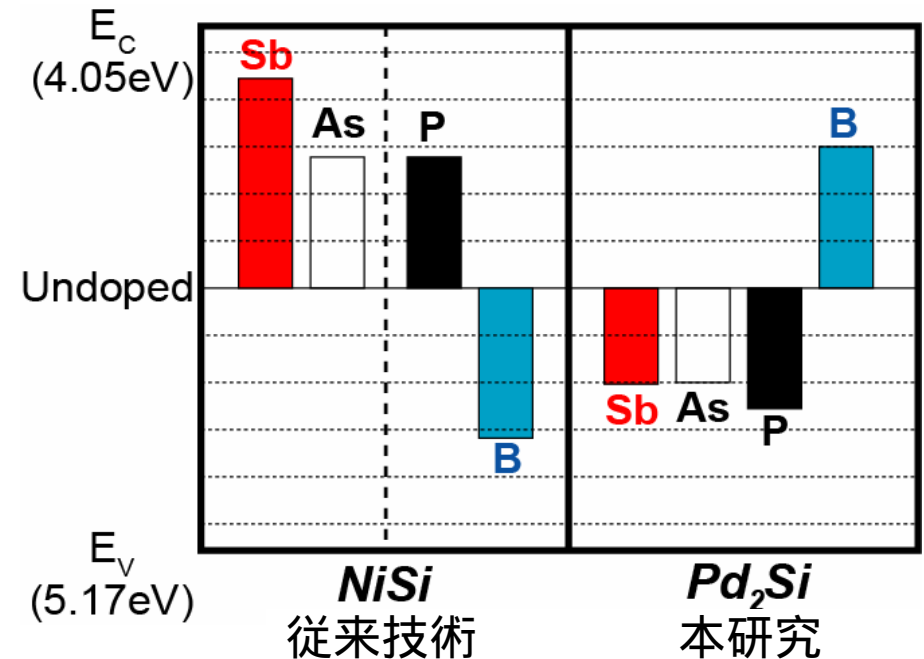
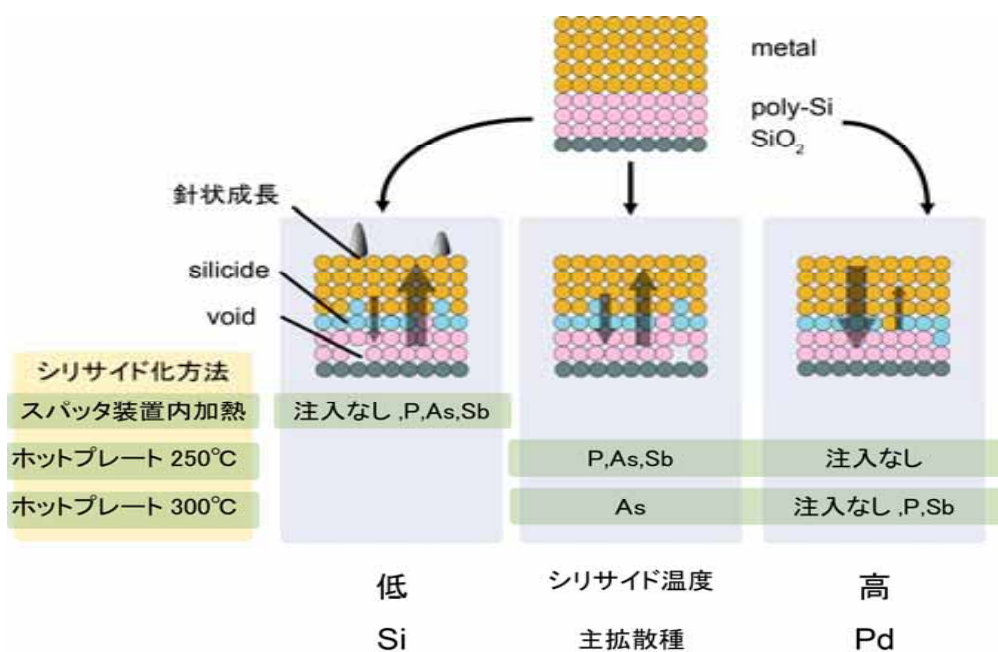
しかし、Nのパイルアップがデバイス製作時の熱処理中に減少する問題を発見(左上図赤線)

→ 対策プロセス・デバイス構造を提案

(日・米 特許出願済、国際会議[16]で発表、2006年4月国際会議招待講演予定)

新しいメタルゲート材料Pd₂Siの研究

次世代のMOSデバイスへの採用が期待されているフルシリサイドゲート構造(現在のポリシリコンをシリサイドで置き換える構造)のための新しい材料を研究。Pd₂Siは従来のNiSiに比べ、低温で形成可能であり、且つ低ストレスという特長を有す。



良質のPd₂Si膜を得るためには、シリサイド化時のSiの拡散を抑えることが重要であることを解明。国際会議[22]で発表。

不純物導入による仕事関数変調が従来のNiSiと同等程度可能であることを実証。(国際会議投稿中)

21世紀COE最終年度はMOSFETへ適用し素子性能を評価予定。

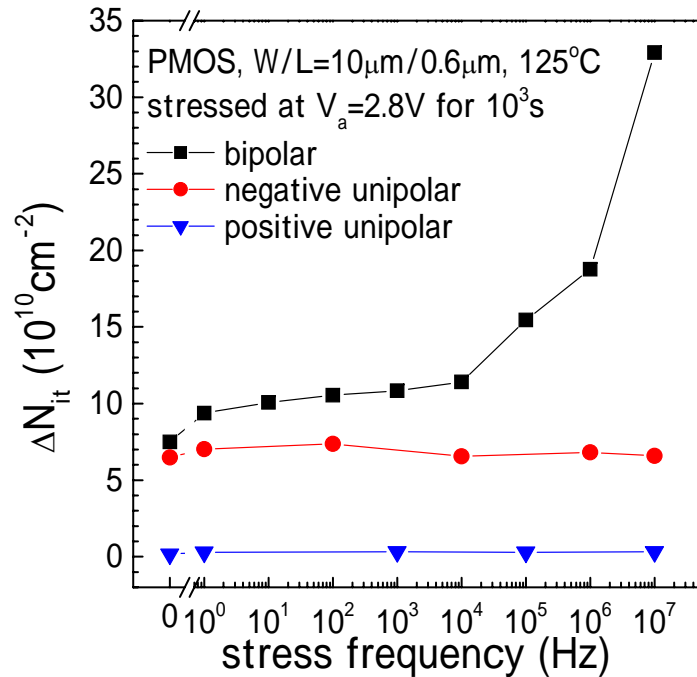
新構造デバイス・微細化基盤技術

1. 三次元 ビームチャネルトランジスタ (Beam Channel Transistor)
 - ・with high current driving capability
 - aiming at applications to power control with small chip area.
2. 仕事関数制御 NiSi ゲート MOSデバイス
 - ・NiSi workfunction tuning method by Sb pre-doping to poly-Si before silicidation
3. High-k 絶縁膜形成 原子層成長(ALD)技術
 - ・Si-nitride/SiO₂ stack gate dielectrics for future scaled DRAMs.
 - ・Enhanced reliability in NBTI was achieved.

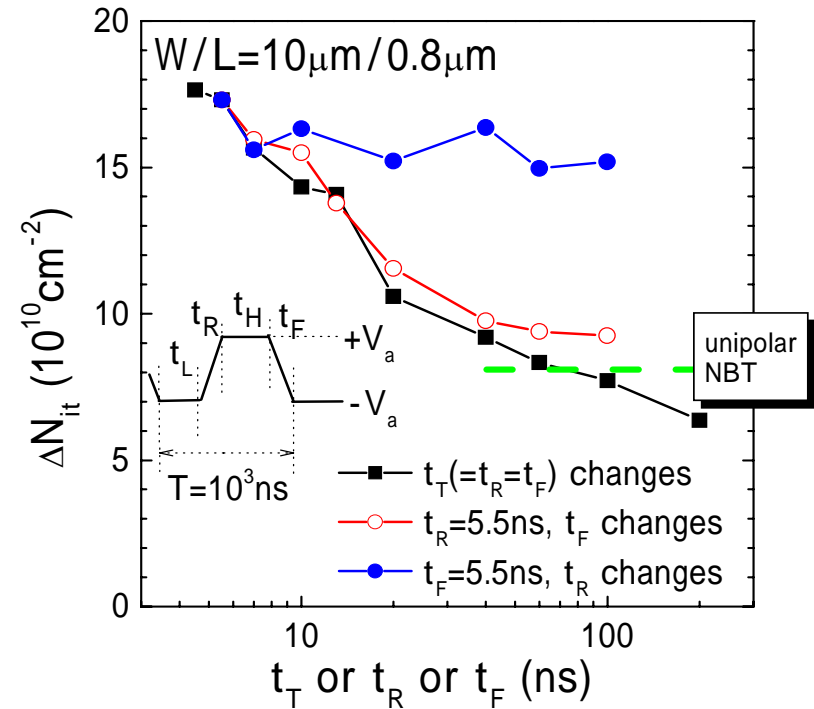
微細MOSのための高信頼性ゲート絶縁膜の開発

ダイナミックバイポーラパルスストレスによる窒化酸化膜ゲート絶縁膜における界面トラップ生成

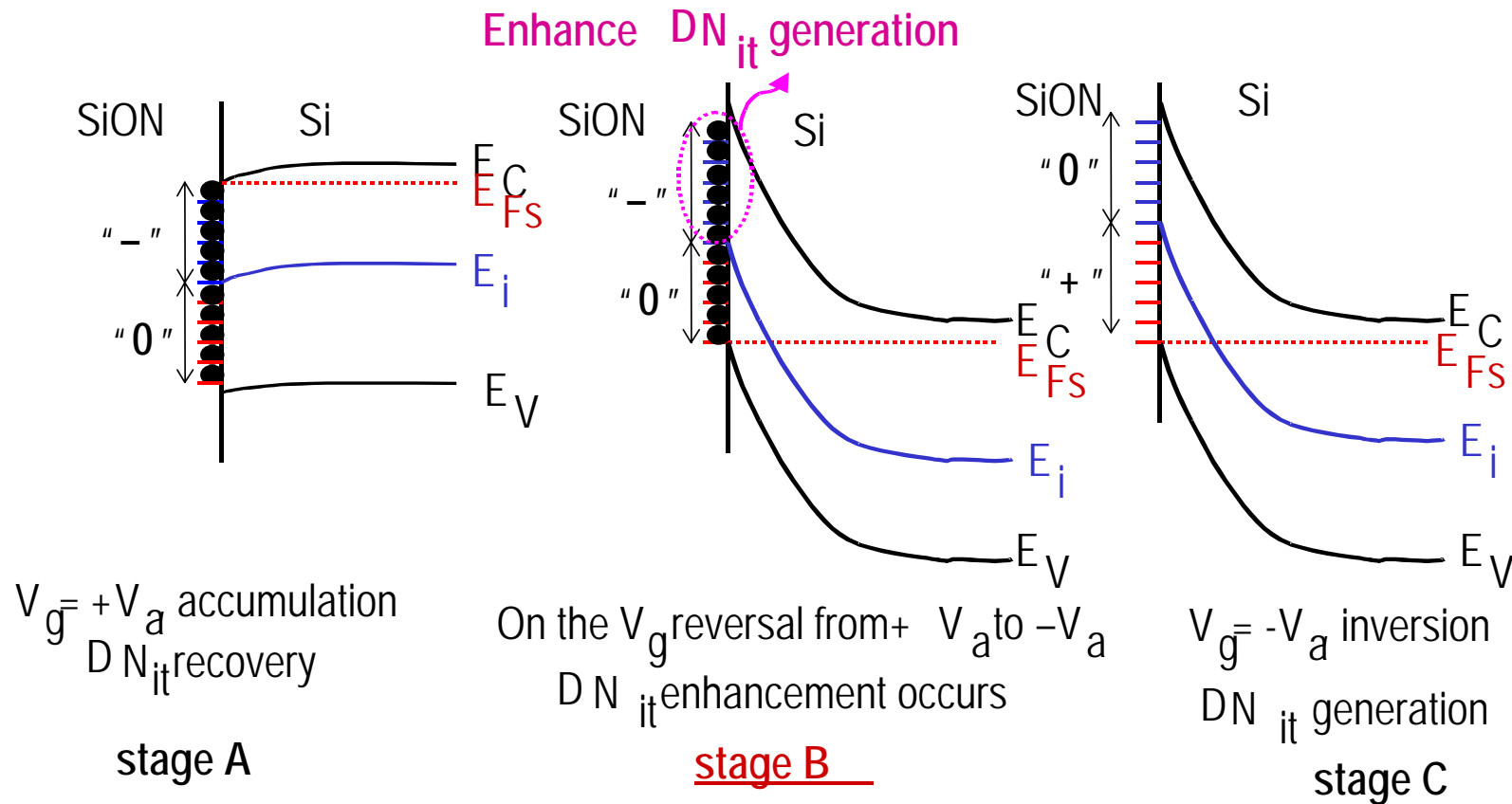
微細MOSFET適用のために、SiONゲート絶縁膜の信頼性を調べ、新知見を得た。



プラズマ窒化酸化膜ゲート絶縁膜を用いたpMOSFETのダイナミック電圧ストレス下界面トラップ生成量。
10 4 Hz以上の周波数領域において、周波数の増加に伴う界面トラップの急激な増加が観測



界面トラップ生成量に対するバイポーラパルス電圧ストレスの立ち上がり・立下り時間依存性。界面トラップ生成量は、立下り時間にのみ依存



- ・高周波バイポーラストレスにおける著しい界面トラップの増加は、界面におけるトラップ電子がゲート電圧 V_g の急激な正から負への変化に追従できない事により生じる。
- ・追従できない電子は過渡的にゲート電界と同じ向きの内蔵電界を作りSi-Hボンドの解離を促す。

IEEE Electron Device Letters,
Vol. 26, No.3, pp. 216-218 (2005)

IEEE Electron Device Letters,
Vol. 26, No.6, pp. 387-389 (2005)

IEEE Electron Device Letters,
Vol. 26, No.9, pp. 658-660 (2005)