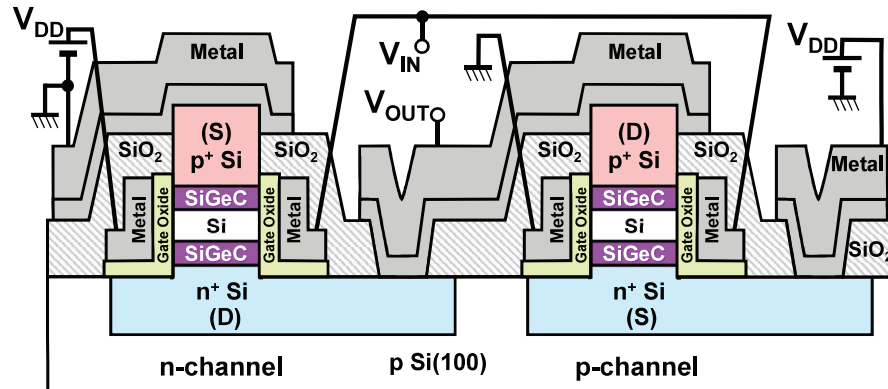
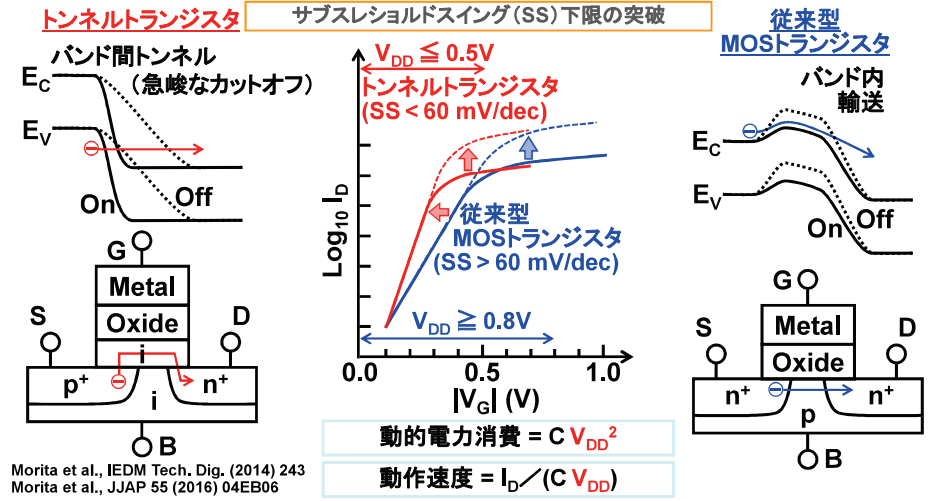


本研究で目指す構造

- ダブルサイドウォールゲート縦型トンネルトランジスタ
- 実効バンドギャップ縮小のための急峻な界面を有するSi-C系/Si-Ge-C系歪混晶ヘテロ構造のエピタキシャル成長

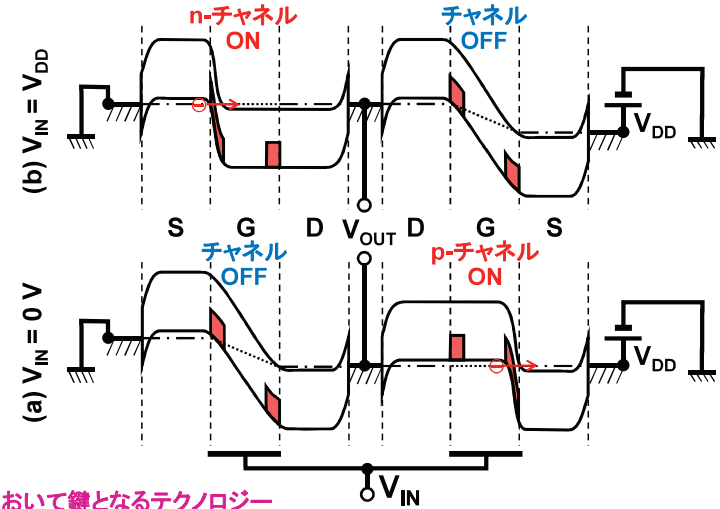


バックゲートバイアスによるしきい値制御 + チャンネルフィン幅縮小(~10 nm)  
→ n-/p-チャンネルの全体積蓄積による電流駆動力向上



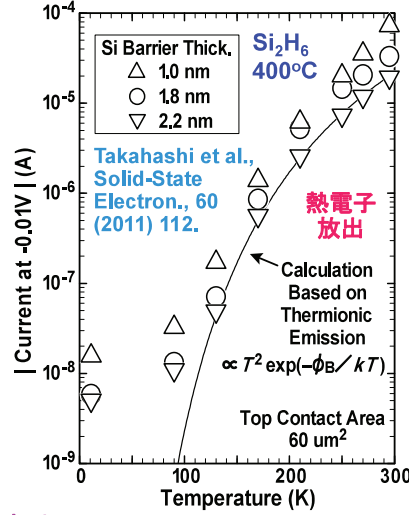
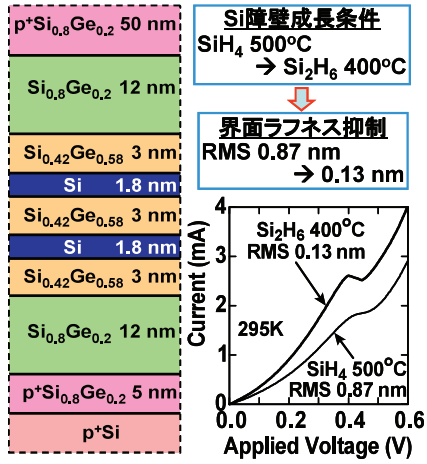
Morita et al., IEDM Tech. Dig. (2014) 243  
Morita et al., JJAP 55 (2016) 04EB06

- ダブルゲートしきい値制御による同一構造での相補スイッチングの実現
- Si-C系/Si-Ge-C系歪混晶の導入による局所的な実効バンドギャップ縮小



本研究において鍵となるテクノロジー  
低温エピタキシャル成長と高濃度ドーピング制御(拡散抑制による界面急峻化)

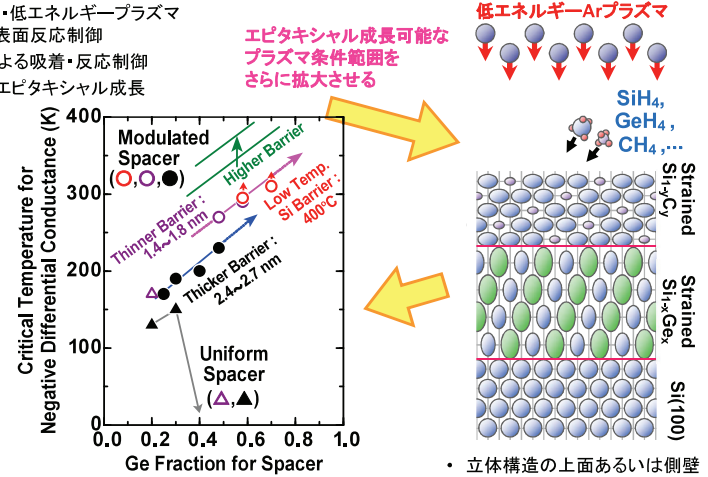
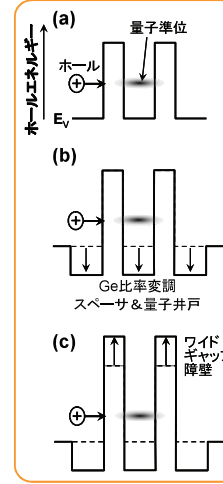
# IV族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセス(1)



高性能SiGe系共鳴トンネル素子では、ナノメートルオーダー厚のヘテロ構造が必須であり、原子オーダーでのヘテロ界面平坦性制御が不可欠（+高障壁ナノ薄膜導入）

# IV族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセス(2)

- 基板非加熱下での低損傷・低エネルギープラズマによる高純原料ガスの表面反応制御
- 原料ガス活性化(改質)による吸着・反応制御
- 非平衡高度歪ナノ薄膜のエピタキシャル成長



高度歪ナノ薄膜の適用による室温共鳴トンネル特性の高性能化と量子効果ナノデバイス高集積化プロセスの基礎を築く。

# IV族半導体ヘテロ構造の低温形成のためのプラズマCVDプロセスの構築

Key Eng. Mat., 470 (2011) 98

基板非加熱でエピタキシャル成長が可能な低イオンエネルギープラズマプロセス (<10eV)

徹底的な低温化の追求 (→100°C以下)

均一な表面反応 島状成長の抑制 (結晶へのプラズマダメージ抑制)

Low-Energy Ar Plasma

室温量子効果の促進

量子構造による新物性の探索

1nm厚さ領域へのB原子層ドーピング

無歪Siに格子整合した無欠陥歪Geの格子定数 (SiとGeの格子定数差約4%)

電子回折

Ge薄膜の厚さ方向の格子定数 (nm)

Si上に堆積したGe薄膜の膜厚 (nm)

無歪Siに格子整合した無欠陥歪Geの格子定数 (SiとGeの格子定数差約4%)

GeH4ガス分圧

無歪Geの格子定数

Si上に堆積したGe薄膜の膜厚 (nm)

SiGe系エピタキシャル成長用 ECRプラズマCVD装置

表面温度100°C以下の低温成膜が可能

# Si(100)上への歪Si-Ge系混晶の基板非加熱エピタキシャル成長

Thin Solid Films, 557 (2014) 31  
ECS Trans., 64 (6) (2014) 99

厚さ方向の格子定数 (Ge比率55%)

0.556 - (2 C<sub>12</sub> / C<sub>11</sub>) (0.543 - 0.556) ; [nm]

弾性定数 (Vegard's lawより)

C<sub>11</sub> = 1.469, C<sub>12</sub> = 0.559

歪Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si

歪緩和Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si

0.565 nm

0.556 nm

明瞭な回折ピークとフリンジパターン

12nm厚さのSiGe (Ge比率55%)の格子定数はSi(100)結晶基板とほぼ格子整合 (SiGeの歪が解放することなくエピタキシャル成長が実現)

Log Intensity (Arb. Unit)

Diffraction Angle 2θ (degree)

(a) Depo. Rate Lower  
P<sub>SiH4</sub>: 1x10<sup>-4</sup> Pa  
P<sub>GeH4</sub>: 1x10<sup>-4</sup> Pa

(b) Depo. Rate Higher  
P<sub>SiH4</sub>: 3x10<sup>-4</sup> Pa  
P<sub>GeH4</sub>: 3x10<sup>-4</sup> Pa

Si(400) 0.543 nm

Calculated Strain Relaxation Degree for x=0.55

0% 100%

Substrate