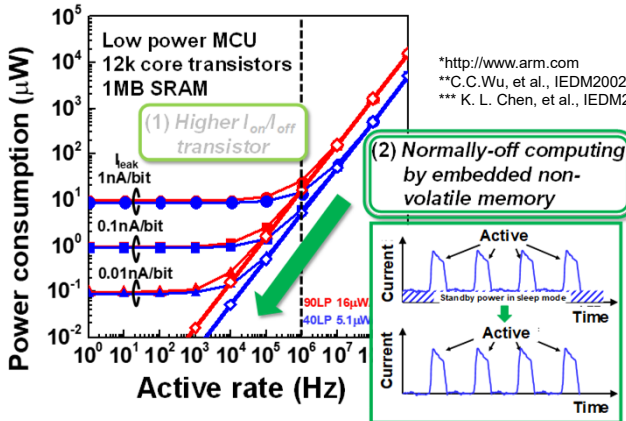


強誘電体HfO₂を用いた不揮発性SRAMの動作実証 Experimental demonstration of nonvolatile SRAM with ferroelectric HfO₂

研究背景: IoTと超低消費電力デバイス技術, ノーマリーオフコンピューティング



- 実空間に無数に配置されるIoTデバイス。
 - 環境発電で動く $1\mu\text{W}$ 級の超低消費電力性能が必要。
 - 現在の商用デバイスよりも10~100倍の低消費電力化が必要。
- この課題に対して新しい集積デバイス技術による解決を図る。

- IoTデバイスは間欠動作で動作するためそのActive rateは低く、ほとんどの時間スリープ状態にある
- スwitching電力だけでなく、メモリ等の待機時リーク電流が消費電力を支えるためその削減が必要。
- IoTデバイス内のモジュールは使用しているとき以外はできるだけその電源をオフしておきたい。そのためには電源オフ前の状態を速度・消費電力のオーバーヘッドなく復帰できるように、不揮発性メモリに状態を保持しておく必要がある。

不揮発性メモリを用いたノーマリーオフコンピューティング技術が有望。

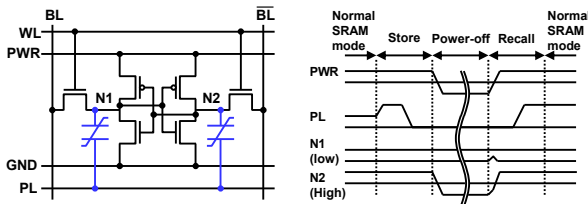
必要な技術: 不揮発性SRAM

Reference architecture:	ARM Cortex-M0 64kB SRAM 256kB EEPROM	ARM Cortex-M0 64kB SRAM 256kB EEPROM	ARM Cortex-M0 64kB SRAM 256kB EEPROM	ARM Cortex-M0 64kB SRAM 256kB EEPROM
Capacity	Large	Medium	Medium	Small
Backup/recovery	Slow	Medium	Medium	Fast
Power	Large	Medium	Medium	Small
Process cost	small	Medium/High	Medium/High	?

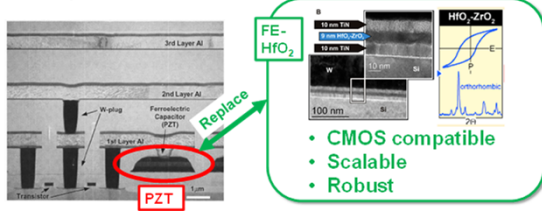
- ノーマリーオフコンピューティングにはCPUコア-不揮発性メモリ間のアクセス時間と不揮発性メモリの消費電力性能が重要。
- IoTデバイスでは大容量メモリは不要、しかしメモリインターフェースとしては既存のものを使えるとよい。

プロセスコストが抑えられれば不揮発性SRAMは有力候補。

不揮発性SRAMの課題



- 強誘電体メモリは低電圧で動作、アクセス速度はDRAM程度、書き換え耐性はフラッシュメモリよりも高く、低消費電力メモリ技術として期待。
- 強誘電体不揮発性SRAMは90年代から2000年代初期に日本を中心に活発に研究が進められた。



S. Masui et al., JSSC 38 5 715 (2003) J. Muller et al., Nano Lett., 12 4318 (2012)

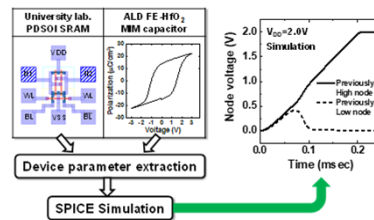
- 強誘電体メモリの課題は信頼性とスケールビリティ。
- CMOSプロセスと整合性が高くスケールブルな強誘電体HfO₂による実現が期待される。

研究動機・目的

- 動作がシンプルで集積プロセスも容易な2セル6T型構造の不揮発性SRAMを強誘電体HfO₂キャパシタを用いて設計・試作、電源オフ前後のデータの待機・復帰動作を実証する。

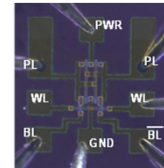
【謝辞】本研究の一部はJSTさきがけと科研費の援助を受けた。

①強誘電体HfO₂ NVSRAMの設計と試作

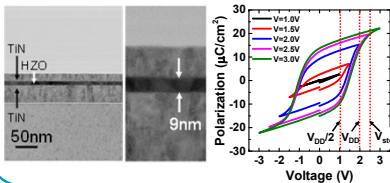


- 生研CRで試作できるSOI MOSFETと強誘電体HfO₂キャパシタからデバイスパラメータを抽出。
- SPICEシミュレーションによりデータの待機・復帰動作を確認。

- PDSOI CMOS SRAM FEOL
- ILD deposition
- Contact via hole
- M1: Bottom TiN/Ti deposition
- HfZrO₂ film deposition
- M2: Top TiN deposition
- Subtractive patterning
- Contact for M1 metal pad
- HfZrO₂ crystallization anneal

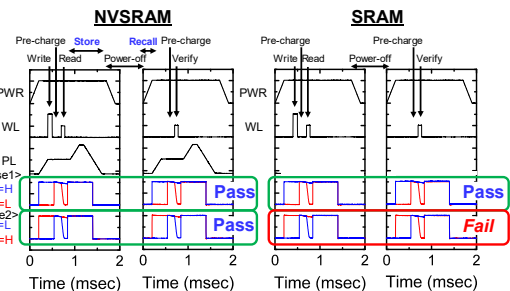


- 強誘電体HfO₂キャパシタをSOI SRAM上に集積するプロセスを開発。
- 現状~500°Cのプロセス温度。バックエンド工程での集積のためには400°C程度まで下げることが必要。

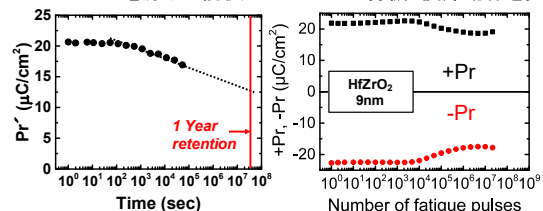


- サブ10nmの平坦な強誘電体HfO₂キャパシタを形成。
- SRAM上で良好な強誘電体特性を示した。

①強誘電体HfO₂ NVSRAMの評価



- NVSRAMで電源オフ前後でのデータの待機・復帰動作を実証した。



- 強誘電体HfO₂キャパシタの保持特性は良好だが書き込み耐性については更なる向上が求められる(1msごとの動作のためには~10⁹程度が必要)。