

強誘電体の特異な物性と強誘電体ゲートトランジスタへの応用

Some Remarkable Physical Properties of Ferroelectric Materials for Ferroelectric-Gate Transistor Applications

北陸先端大 °徳光 永輔

Japan Advanced Inst. Sci. Technol., °Eisuke Tokumitsu

E-mail: e-toku@jaist.ac.jp

強誘電体は、自発分極を持ちかつそれが外部電界によって反転可能な材料として定義される。従って強誘電体は材料そのものに(1)不揮発性メモリ機能が内包されているが、その他にも、(2)大きな電荷量を誘起できる、(3)負性容量発現の可能性がある、などの特徴がある。本講演では、これら強誘電体の特異な物性とデバイス応用、特に強誘電体ゲートトランジスタ応用に関して、最近の状況と筆者らの研究を紹介する。

(1) 不揮発性メモリ応用

強誘電体は高速でのスイッチングが可能で書き換え耐性も高く、消費電力も小さいために1980年代から不揮発性強誘電体メモリ集積回路の研究が盛んに行われ、現在では実用化されるに至っている。強誘電体メモリには従来のDRAMのメモリセルと同様に強誘電体キャパシタと選択トランジスタのセル構造を持つキャパシタ型と、強誘電体をゲート絶縁膜に用いたトランジスタを構成単位とするフラッシュメモリに類似したトランジスタ型に分類される。実用化されているのはキャパシタ型であるが、トランジスタ型は非破壊読み出しが可能で、またスケールアップが可能のため微細化に向いており、近年のHfO₂系強誘電体の発見もあって再度脚光を浴びている。

(2) 大きな誘起電荷量

強誘電体は誘起可能な電荷量が従来の常誘電体より格段に大きい。通常の絶縁体では、電圧を印加すると比例定数を容量Cとして電荷量Qが増加するが、あるところで絶縁破壊電界に達する。この時の最大誘起電荷量を計算すると、SiO₂の場合、比誘電率を3.9、絶縁破壊電界を10 MV/cmとして、3.5 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ となる。これに対し、強誘電体の場合は1 MV/cm以下の印加電界においても、分極の値は10~50 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ にもなる。これはSiO₂の最大誘起電荷量より1桁程度大きい。本講演では、この特徴に着目して導電性酸化物のインジウムスズ酸化物(ITO)をチャネルとして用いた薄膜トランジスタを実現した筆者らの研究を紹介する。

(3) 負性容量の可能性

さらに最近では、強誘電体のヒステリシス特性を説明する現象論において分極と電界との関係がS字曲線となることから、通常は不安定で観測されない負性容量を示す領域を利用できれば、MOSFETのサブスレッショルド係数を理論的な限界(300Kにおいて60mV/decade)よりも小さくできるのではないかという提案が発表された。近年HfO₂系の材料で強誘電性が発見されたこともあってシリコンMOSFETの分野で脚光を浴び、強誘電体ゲート構造の研究が再び活性化している。本講演では負性容量特性を利用して急峻スロープMOSFETを実現しようとする最近の研究を紹介するとともに、簡単な分極反転動作を解析した結果を報告する。