

第三十三回 新規強誘電体は強誘電体をメインメモリにしようか？ —強誘電体材料の進捗—

舟窪 浩 東京工業大学

2024年6月8日(土) 9:00~

モデレータ 堀 勝

概要

強誘電体材料はこの10年で劇的に進化している。それは HfO_2 とウルツ鉱型材料の二つの大きな材料群に強誘電体特性が発見されたことに起因している。誘電体とは圧電効果を用いたスマートフォンのタッチパネルやアクチュエータなどに広く応用されている。その中でも結晶自身が分極を持っており反転できる性質をもっているものが強誘電体である。強誘電体に正負の電圧を印加することで異なる状態を持たせることが可能であるために、メモリへ応用がされている。本講演では、強誘電体材料開発の研究の歴史と最近の応用事例を交えながら強誘電体材料のアプリケーションの未来をご講演いただいた。

強誘電体のメモリは主に3種類に分けることができる。1つ目は DRAM(Dynamic Random Access Memory)同様の 1T-1C タイプの FeRAM (Ferroelectric RAM) である。FeRAM はすでに交通系 IC カードやセキュリティーチップなどに実用されている。2つ目は、トランジスタのゲート電極下に強誘電体膜をいれることで動作させる FeFET (Ferroelectric Field-effect transistor) がある。最後は次世代デバイスとして提案されているトンネル接合メモリ FTJ (Ferroelectric Tunnel Junction) である。いずれのデバイスも低電力と高速動作が両立できる特徴をもっているが、メモリデバイスの研究論文数 2000 年初期をピークに一度低下したが、2011 年の HfO_2 薄膜の強誘電体特性の発見により論文数は増加し続けている。

2011 年以前ではペロブスカイト構造のチタン酸ジルコン酸鉛 ($\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$) (PZT) が活発に研究されていたが、いくつかの課題を克服するために 1994 年に蛍石の一種である $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT) などが登場した。これらは複雑な結晶構造のため高温での成膜が必要であることや、集積回路に使用されている材料間への拡散、薄膜化による強誘電体特性の消失などにより大きなメモリ市場を獲得するには至らなかった。

2011 年に強誘電体材料として HfO_2 が脚光を浴びた。 HfO_2 は薄膜時のみ出現する準安定層があることで強誘電性を有する。この材料は室温でのスパッタ法での成膜でも強誘電性をもつことができ、さらに高い機械的特性からもウェアラブルデバイスなどにも応用先がひろがっている。

2019 年にウルツ鉱型強誘電体材料として (Al,Sc) N が HfO_2 よりも高い強誘電性を有することが発見され、 HfO_2 同様に薄膜でも特性を失われないために FTJ の実現が期待されている。他にも (Ga,Sc)N や (Al,B)N, (Zn,Mg)O など数多くの新材料の登場や 2D 材料での強誘電性などにより、強誘電体のメモリの進歩が爆発的に進んでいる。

最後に、強誘電対の優れた熱耐久性や負の誘電体特性を活用することで、未来には新しい発想のデバイスが登場する可能性も秘めており、これからは半導体分野の方々とのコラボレーションも重要になってくるとご助言いただき、本講座は終了した。(記：堤 隆嘉)