酸化物エレクトロニクスと強誘電体
—過去、現在、未来—
Oxide Electronics and Ferroelectrics
- Past, Present and Future -

東大工，°田畑　仁
Univ. of Tokyo, °Hitoshi Tabata
E-mail: tabata@bioeng.t.u-tokyo.ac.jp

科学技術の発展は螺旋階段をひとつ一つ昇っているようである。真上から螺旋階段を眺めていると、同じ所をクルクル巡っているように見える。しかし、横から見ると（時間の流れを螺旋階段の垂直軸と考えると）、材料の理解、分析技術、加工技術など、そのいずれもが時経過とともに着実に進歩している。

強誘電体関連研究を顧みると、FET 型の Ferro-RAM 構造のアイデアは、1963 年にスタンフォード大学の Moll と垂井らが発表している [1)]。これらデバイス化が実現する契機となった Symetrix 社の Araujo らの疲労耐性に優れた強誘電体薄膜に関する発表が 1995 年になされた [2)]。しかしその材料（Bi 系層状強誘電体）自体は、1950-60 年頃に詳細に研究されていた [3-6)]。

誘電性-磁性-弾性の相互作用についても同様の事がいえる。J.Wang らが 2003 年に報告した $BiFeO_3$ における強誘電性と磁性が共存するマルチフェロ特性 [7)]に関しても、G.A.Smolenskii らが 1964 年に発表しており [8)]、翌年 1965 年には、その研究に関する詳細な解説が野村によってなされている [9)]。その後もおよそ 10 年周期で関連研究が様々研究者によりなされてきた [10-13)]。

$PbTiO_3$ に代表される強誘電体の単結晶薄膜化の研究は、和佐らによってスパッタリング法を用いて 1980 年代に精力的になされ [14)]、その後の薄膜結晶成長技術の発展に伴い $BaTiO_3$-$SrTiO_3$ 歪人工格子 [15)]、$LaAlO_3$-$SrTiO_3$ 人工格子 [16)]等の強誘電体、誘電体薄膜における基板および異種層界面での格子歪や、大きな双極子分極による極性界面が引き起こすユニークな物性、さらには強誘電体-強磁性体: PZT-$(La,Sr)MnO_3$ ヘテロ構造-FET 素子における、圧電および電界効果による磁気抵抗のダイナミック制御がなされている [17)]。またテラヘルツ波分光によりフォノンやエレクトロマグノンなどの振動モードが直接観察可能となっている [18,19)]。

さらに結晶対称性からは予測が難しい強誘電性が HfO_2 等において報告されているが [20)]、SiO_2 や ZrO_2 などに関して類似の報告が 10 年以上前にも既になされていたことも大変興味深い。

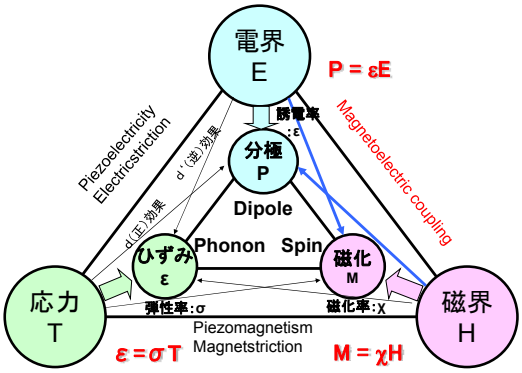

Fig. 双極子-スピン-格子相関

References:
1) J. L. Moll and Y. Tarui, IEEE Transactions on Electron Devices, 10 (1963) 318.
2) P.A.Araujo et.al., Nature, 374 (1995) 627.
3) B.Auririllius, Aekiv. Kemi. 1 (1949) 463.
4) G.A.Somolenskii et al.,Sov. Phys. Solid State, 1 (1959) 149.
5) E.C.Subbarao, J.Ame.Ceram.Soc. 45 (1961)166.
6) H.Tabata, IEICE Trans.Elec.,E81-C(1998)566.
7) J. Wang et al., Science, 299 (2003) 1719 .
8) G.A.Smolenskii , J.Appl.Phys.35 (1964) 915.
9) 野村昭一郎, 物性, 6 (1965) 110.
10) K.Aizu, Phys. Rev. B 2 (1970) 754.
11) G.A.Smolenskii et al., Sov.Phys.Usp. 25 (1982) 475.
12) K.Ueda et al., Appl.Phys.Lett. 75(1999) 555.
13) R.Ramesh et al., Nature Mater. 6 (2006) 21.
14) H.Adachi et al., J. Appl. Phys. 60 (1986) 736
15) H.Tabata et al., Appl.Phys.Lett., 65 (1994) 1970
16) A.Ohtomo et al. Nature 427(2004) 423.
17) H.Tabata, IEICE Trans.Elec.,E80-C (1997) 918.
18) Y.Takahashi et al., Nature Physics, 8 (2012) 121
19) M.Adachi et al. Phys.Rev.B, 89 (2014) 205124.
20) J.Muller et al. Nano Lett. 12 (2012) 4318.

© 2015年 応用物理学会