SNDM 強誘電体プローブデータストレージの再生信号強度に関する現象論的考察

Phenomenological Study on Readback Signal Intensity in SNDM Ferroelectric Probe Data Storage

東北大通研　°平永 良臣，長 康雄

RIEC. Tohoku Univ.,　°Yoshiomi Hiranaga, Yasuo Cho

E-mail: hiranaga@riec.tohoku.ac.jp

【はじめに】

我々は現行記録方式に代わる次世代の記録方式として，強誘電体プローブデータストレージに関する研究開発を行っている．[1] 本方式は，極細の金属探針を書き込みヘッドとして用い，厚さ 100 nm 以下の強誘電体記録層に局所的な電界を与えることで，ビット情報を自発分極方向に対応づけて記録する方式である．

一方，読み出しの際には，記録層に微小交番電界を与えたときの非線形誘電応答による静電容量変化を捉えることで，極性の判別を行っている．しかし，現行の記録媒体では非線形誘電率 ε_{333} の値が小さく，実用上十分な再生信号強度，ひいては再生速度を得るには至っていない．

そこで，本研究では基礎に立ち返り，非線形誘電率の大きな記録媒体を得るための方策についての議論を行った．

【キュリー点制御による ε_{333} の増大】

議論をはじめるにあたり，まず，現象論的なアプローチにより非線形感受率 $\chi^{(2)}$（$= \varepsilon_{333}/2\varepsilon_0$）がどのように定式されるかについて見てゆく．

二次相転移モデルを仮定した場合，自由エネルギー F は分極 P および温度 T を用いて次式のように表される．

$$F = \frac{\alpha_0(T - T_0)}{2}P^2 + \frac{\beta}{4}P^4 \qquad (1)$$

但し，T_0 はキュリー温度，α_0，β は温度に依存しない定数である．

式(1)からランダウ理論と同様の手続きにより，$\chi^{(2)}$ に関する次式を得る．

$$\chi^{(2)} = -\frac{3}{16}\frac{P_s\chi}{\Delta E} \qquad (2)$$

ここで P_s は自発分極，χ は線形感受率，ΔE はポテンシャル曲線におけるエネルギー障壁である．

また，上式は温度依存性を表す表式として次式のように書き表すこともできる．

$$\chi^{(2)} = -\frac{3\beta^{1/2}}{8\varepsilon_0\alpha_0{}^{5/2}}\frac{1}{(T_0 - T)^{5/2}} \qquad (3)$$

式(3)によれば，$\chi^{(2)}$は$T_0 - T$の−5/2 乗に比例し，キュリー点に近づくとともに発散的に増大する．実際，Fig. 1 に示すように，実験的にも $\chi^{(2)}$が温度とともに急激に増大する様子が観察されている．このことは線形誘電率や圧電定数と同様，キュリー点制御を通じて材料物性の調整を行う手法が，非線形感受率に対しても適用可能であることを表している．

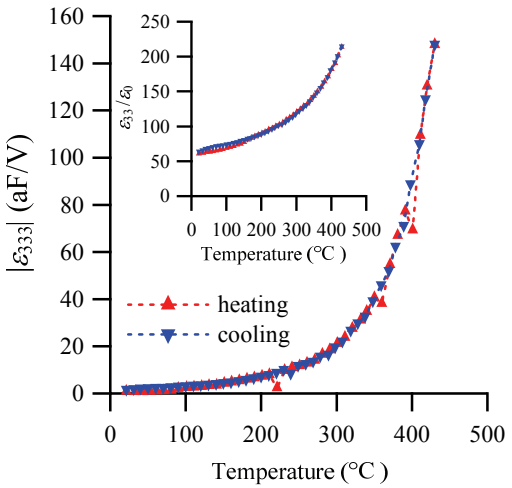

Fig. 1 Experimentally-obtained temperature dependence of nonlinear permittivity ε_{333} in $LiTaO_3$ single crystal. The temperature dependence of linear permittivity is shown in the inset.

【強誘電体記録媒体におけるジレンマ】

式(2)によれば$\chi^{(2)}$を増大させるためには P_s，χ を増加させるか，もしくは ΔE を減少させればよいことになる．しかしながら，これら 3 つのパラメータは

$$\chi = \frac{P_s^2}{8\varepsilon_0\Delta E} \qquad (4)$$

という関係式で関係づけられており，独立に選ぶことができない．式(4)を式(2)に代入すると

$$\chi^{(2)} = -\frac{3P_s^3}{128\varepsilon_0\Delta E^2} \qquad (5)$$

のようになり，$\chi^{(2)}$は P_s および ΔE のみを含む式で書き表されてしまう．P_s を現行の数倍以上に増大させることが現実的には難しいことを考えると，ΔE を減少させずに $\chi^{(2)}$を増大させることは困難であるという事になる．換言すれば，強誘電体プローブデータストレージにおいて，記録媒体の観点から信号強度を増大させることと保持特性を改善させることはトレードオフ関係にあると言える．なお，以上は二次相転移モデルに基づく議論であったが，一次相転移モデルにおいても同様の結論が導かれる．

このジレンマを克服するためには，新たな方策を導入する必要がある．講演当日はこの点についてもあわせて議論を行いたい．

[1] K. Tanaka, *et al.*,Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 3311 (2008).

© 2019年 応用物理学会