

氏名(本籍)	田中治雄(山形県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第177号
学位授与年月日	昭和44年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	強誘電体記録に関する基礎的研究

(主査)

論文審査委員	教授 佐藤利三郎	教授 清水 洋
	教授 岩崎 俊一	教授 池田 拓郎
	助教授 池田 哲夫	

論文内容要旨

第1章 緒論

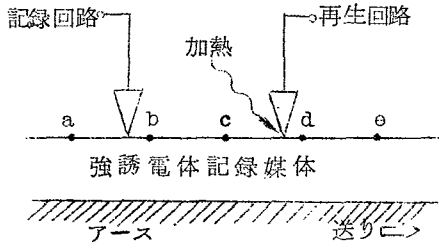
強誘電体を媒体とする記録の研究はいくつか行われてきたが、まだ記録後長時間たつて再生をした例はない。

本論文は従来の研究の障害となっていた真電荷による分極の遮蔽の問題を解決し、強誘電体記録が可能であることを実験的に確かめ、さらに高密度化や新しい材料の開発に有用と考えられる理論解析を行っている。

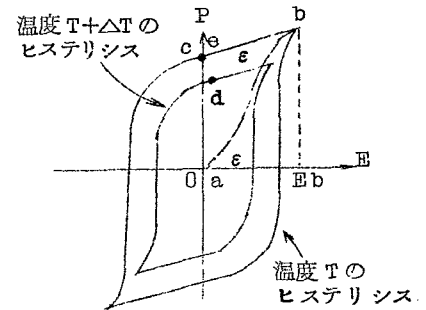
第2章 強誘電体記録

2.1 強誘電体記録の概要

強誘電体記録の概略を第1図に示す。同図の点a, b, c, d, eにおける媒体の状態を第2図のヒステリシス上に示す。ただしbとc, dとeの変化は外部から変化を与えないと長時間を要する。



第1図 強誘電体記録の概略



第2図 ヒステリシス

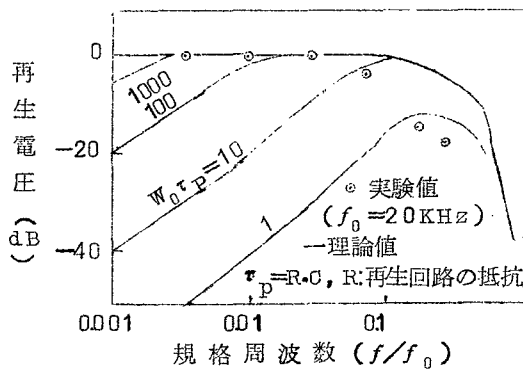
状態aにある媒体に、記録電極の下で信号電界 E_b が作用すると、状態はbに移り分極 P_b が誘起される。bにある媒体は長時間放置されると、残留分極に信号は蓄えているが、外部に電界を作らない状態c(閉じた状態)へ移る。これで記録が終了した。

閉じた状態cの媒体から信号を再生するためにパイロ電気現象を用いる。すなわち状態cの媒体を加熱して状態dへ移す。dでは表面に $P_c - P_d$ の見掛けの電荷が現れる。加熱による温度変化が小さければ $P_c - P_d \propto P_c$ であるから、 $P_c - P_d$ による誘起電圧から蓄積されている信号 P_c を知ることができる。再生に加えられる温度変化が小さいと、再生後温度が元にもどった状態eと再生前の状態cは一致すると考えられ、再生は何度でも可能である。以上が記録再生の概要である。

2.2 直線近似解析

媒体の分極特性を直線に近似して、強誘電体記録を一種の伝送系とみなし、全系を一貫して論じて、記録再生特性を求めた。

その結果を第3図に示す。図によると、再生回路の抵抗を十分大きくすれば、再生電極の幅で決まる遮断周波数が存在する以外は、理想的な特性を得ることができる。



第3図 再生電圧の周波数特性

2.3 実験結果

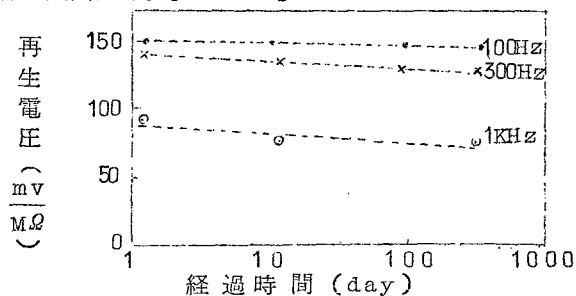
再生出力の周波数特性および経時変化の実験結果を第3図および第4図に示す。実験の条件はつぎの通りである。

媒体 PZT磁器(厚さ200 μ)

記録再生電極 銀ろう(60 μ)

媒体速度 120cm/sec 記録電圧 300V

なお測定中媒体は大気にさらしておいた。



第4図 再生出力の経時変化

第3章 再生の理論

強誘電体記録系の特長であるパイロ電気現象を用いた再生について論じる。時間 t における点 (x, y) の分極を $P(x, y, t)$ とすると、温度 T の変化による分極の変化は

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\partial P}{\partial T} \cdot \frac{dT}{dt} + \frac{\partial P}{\partial E} \cdot \frac{dE}{dt} \quad (1)$$

となる。ただし $E(x, y, t)$ は点 (x, y) の電界である。(1)式へガウスの定理を用い、時間について積分する。

$$\text{div} \int_0^{E(t)} \left(\epsilon_0 + \frac{\partial P}{\partial E} \right) \cdot dE = -\text{div} \int_{T(0)}^{T(t)} \frac{\partial P}{\partial T} \cdot dT \quad (2)$$

(2)を閉じた状態を初期条件として解くと、分極分布、再生電圧を得ることができる。簡単のために(2)へ微小温度変化の仮定—再生時に媒体に加えらるる温度変化は小さくて、媒体の感受率 $\partial P / \partial E$ およびパイロ係数 $\partial P / \partial T$ の変化は無視できるものとする—を用いる。すなわち

$$\frac{\partial P}{\partial E} = \chi \quad \frac{\partial P}{\partial T} = \eta(x, y) \quad (3)$$

とおけるものとする。すると(2)は次式となる。

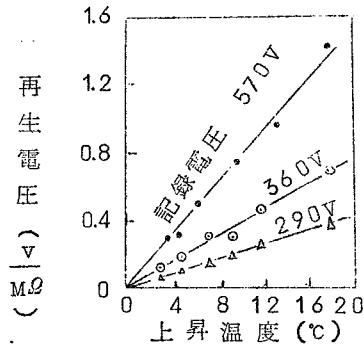
$$\text{div}(\epsilon_0 + \chi) \cdot E = -\text{div} \Delta T \cdot \eta \quad (4)$$

ただし、 $\Delta T(x, y, t) = T(x, y, t) - T(x, y, 0)$ である。(4)式は $q = -\text{div} \Delta T \cdot \eta$

なる電荷が誘電率 $\epsilon_0 + x$ なる媒体中に存在する静電界の表示である。よって再生電圧 V は重畳の理および相反定理を用いて

$$V = - \iint b(x, y) \cdot \Delta T \cdot d \ln \eta \cdot dy \cdot dx \quad (5)$$

で与えられる。ここに電位関数 $b(x, y)$ は再生電極に単位電荷を与えたときに点 (x, y) に誘起される電位である。パイロ電気現象の性質から $\eta \propto T^2$ である。よって微小温度変化の仮定の基においては、再生電圧は閉じた状態の分極の分布と電位係数から得ることができる。(5)の $V \propto \Delta T$ という関係は第5図に示すように実験的に確かめられている。



第5図 再生出力の変化温度等性

第4章 記録の理論

強誘電体記録の記録過程をつぎの観点からとらえてみた。

- (1) 記録エネルギーの問題
- (2) 媒体の分極特性の電界印加時間依存性
- (3) 媒体の分極特性の非直線性の問題
- (4) 記録の第2段階

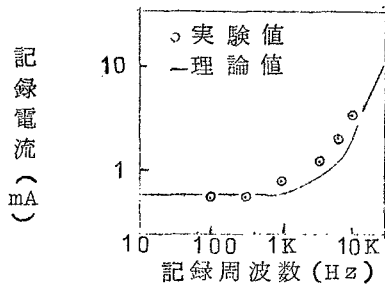
記録の第2段階とは第2図のbからcへの変化の過程をさす。

4.1 記録電流

強誘電体記録では記録時に媒体表面へ電荷が注入される。これは電源回路側からみると一種の損失である。記録電流は次式で与えられるが、その第2項が注入電荷による損失の項である。

$$I(t) = C \frac{dV}{dt} + \frac{C_0 v}{2L} \cdot V$$

上式の計算値を実験結果と共に第6図に示す。間接的にはあるが記録エネルギーを観測できたことに意義がある。



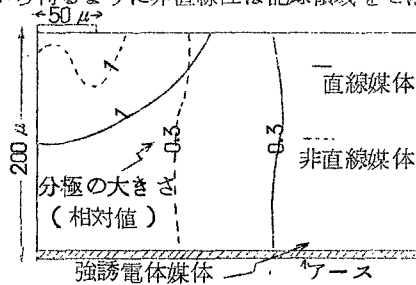
第6図 記録電流の周波数依存性

4.2 残留分極の電界印加時間特性

強誘電体磁器の残留分極は印加電界の大きさのみにはならず、電界を加えている時間にも依る。この時間の効果は強誘電体の本質的な性質であるが、遮断周波数付近の記録特性を劣化させる。しかしこの特性の劣化は再生損失に比べると問題にならない。

4.3 分極特性の非直線性

記録領域の拡がり媒体の分極特性の非直線性がどう影響するかを論じる。分極分布の計算結果を第7図に示す。図から判るように非直線性は記録領域をせばめる傾向にある。



第7図 媒体の非直線性が記録領域に与える影響

4.4 記録の第2段階

実用上第2図のbからcへの変化、すなわち記録の第2段階を強制的に速く進めることは必要である。そこで第2段階の進行速度が記録特性に与える影響を実験的に検討した。その結果記録特性は大きい影響を受けない。

第5章 結論

この論文では強誘電体を記録媒体とした記録が、再生過程にパイロ電気現象を用いると可能であることを理論的、実験的に確かめた。

第2章の近似理論および実験結果からつぎのことが言える。

- (1) 記録寿命は半無限である。
- (2) 直流近傍まで再生できる。
- (3) 記録の最短波長は再生電極幅で決まる。

以上の実験を基に第3章と第4章において再生と記録機構の解析を行った。その結果つぎのことが明らかとなった。

- (4) 再生過程は「微小温度変化の仮定」により解くことができる。そして記録と再生を分離して扱える。
- (5) 記録電荷は電源の損失として表観される。
- (6) 媒体の分極特性の非直線性は、記録領域をせばめる傾向がある。

審査結果の要旨

磁性体を用いた記録は現在広く実用されている。しかし、磁性体と双対な関係にある強誘電体を用いた記録は種々試みられたが、実験的にも理論的にもまだ長時間記録再生された例はない。

著者は従来の強誘電体記録の実現されない問題点が真電荷による遮蔽効果のためであることを確かめ、更にパイロ電気現象を用いることによって記録が可能であることを明らかにし、強誘電体記録に関する基本的研究を定量的に行なった。本論文はそれらをまとめたもので全編5章よりなっている。

第1章は緒論で、本研究の関連する研究と、本論文の内容を述べている。

第2章では、記録の観点より強誘電体の性質を近似的に解析し、パイロ電気現象を用いた記録、再生、消去の一貫した近似理論解析を述べ、更に種々の実験結果を詳述している。その結果PZT磁器を用いて媒体速度 120 cm/sec で直流より 10 KHz まで記録再生し得ることを実験と理論より証明した。

第3章では、パイロ電気現象を用いた再生機構の、より詳細な研究を述べている。再生電圧の加熱温度依存性の測定結果より微少温度変化の理論解析が、よく実験を説明し得ることを示した。

第4章では、記録機構のより詳細な研究を述べている。記録機構に関連する記録電圧、回路の出力インピーダンス、電極及び媒体の構造、媒体の分極特性、媒体の導電性、電極と媒体の相対速度等を考慮した理論解析を行ない、残留分極の電界印加時間依存性、媒質の非直線性を加味した分極分布の特性等を理論と実験より考察した。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、従来困難とされていた強誘電体を用いた記録をパイロ電気現象を利用することによって実現出来ることを実験的に且つ近似理論より証明し、更に再生及び記録の機構の理論に対し、貴重な資料を提示したものであって、通信工学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。