オプトセラミックスの画像技術への応用

株式会社日立製作所 中央研究所 熊 田 明 生

最近、セラミックスでありながら透明で、大きな電気光学効果を示す PLZT という材料が出現し、オプトセラミックスとも呼ばれて注目されている。PLTZ はエレクトロニック光シャッター、画像の可逆蓄積素子およびフレームメモリー付ディスプレイ素子など電気光学分野の技術課題への可能性を示しており、テレビ技術および画像エレクトロニクス技術などの将来にも新しい方向づけを示唆している。ここでは、このオプトセラミックス PLZT の合成法、性質、機能的特徴および主な応用デバイスに関し概説する。

1. ま え が き

最近のエレクトロニクス技術のめざましい発展は膨大な情報処理システムを作りあげたが、それでもエレクトロニックな情報は時系列にしか処理できないから、GHz の高周波をもってしても毎秒 10^9 個程度の信号しか処理できない。

一方、オプティックスでは空間的に広がった膨大な情報を一度にまとめて処理できる。たとえばカメラでは 10^{-3} sec 程度のシャッター時間内に、35 mm フィルム上に 10^8 本/mm の解像度で撮像することができる。この場合 10^{-3} sec で 10^9 個の画素に 100 階調程度の画像が記録される。

この画像情報を電子計算機のデジタルメモリーに同じ時間内に記録しようとすれば、 10^{10} bit のメモリー素子を用意し、これの各ビットに 10^{-13} sec 以内に書込まねばならず、現状の技術では不可能である。

カメラでさえ、これだけ大量の情報を高速に処理する能力をもっているのである。

映画の場合はオプティックスのこの空間処理能力が活用され、動画像として豊富な情報量を提供している。さらに時間の停止、反転および合成も可能であり、色調を制御することも、輝度を変えることもできる。しかしなんといいても、テレビ技術のように伝送することのできないのが最大の欠点であろう。

そこで、エレクトロニクス信号の制御しやすさとか、むしろわれわれ現代人にとってなじみの良さという

特長と、オプティックスがもつ空間系列の同時処理能力という特長とを結びつけたオプトエレクトロニクスの重要性が注目される。

物質に光を照射すると反射、透過、屈折、回折、干渉、散乱、吸収、旋光などの現象が見られる。このような光学的性質は一般に外部電場によって変化し、その変化の大きな物質が電気光学材料である。オプトエレクトロニクスでは電気光学材料のほかにも、光電効果、光導電効果を示す材料等もある。

これらはディスプレイ、トランスデューサーおよびメモリーなどのデバイスに適用され始め、テレビ技術、画像エレクトロニクスの将来にも新しい方向づけを示唆している。このような材料の中でも、セラミック電気光学材料は液晶などと比較して、応答性が速く、長寿命であるなど実用性が高いことからオプトセラミックスと呼ばれ、今後の発展が大いに期待されている³³⁾。

写真1 各種サイズにホットプレスしたオプトセラミックス PLZT をスライス、研磨した薄板

"Optoceramics and Their Image Processing Applications" by Akio Kumada (Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Kokubunji, Tokyo)

ここでは、オプトセラミックス PLZT (写真 1) の機能的特徴を材料面から解説し、ついでテレビ技術および画像エレクトロニクスの技術の流れから見た新デバイスのニーズに対する位置づけを考察してみよう。

2. ホットプレスによる合成方法

PLZT とは、 $Pb(Zr-Ti)O_3$ 系固溶体に La を添加したセラミックス $Pb_{(1-x)}La_x(Zr_{(1-y)}Ti_y)_{1-(x/4)}O_3$ の略称である。原料粉を成形し、約 1,200°C で 3,000 psi の圧力を印加するホットプレス法で焼結すると透明なセラミックスが得られる。その透光性は原料中の空気を焼結プロセス中に完全に除去する目的で、酸素雰囲気中でホットプレスすることにより改善できる。これは窒素ガスの拡散速度が酸素にくらべて著しく遅いため、焼結体中に気泡として残存するからであり、酸素ガスで置換した雰囲気中でホットプレスすると、気泡のない透明なセラミックスが得られる (写真 1)。

ホットプレス法で、透明な PLZT を合成することは Sandia 研究所 (米国) で Haertling (元、同研究所員) ら^{1)~3)} が偶然の機会に発見した (1966 年)。当初のセラミックスは曇ガラス様の散乱体であったが、同所の Land ⁴⁾⁵⁾ は電圧を印加して分極の向きを面内に揃えると散乱が増え、厚さ方向に揃えると散乱が減る現象に注目し、オプトセラミック材料として PLZT と名づけた。

PLZT の透光性などの光学的性質の良否と均質性などは、原料粉の選定によっても大きく影響される。Haertling はホットプレス (HP) 用原料粉を化学反応で合成する CP 法と、酸化物を混合して高温で固相反応させる

表 1 PLZT ホットプレス用原料粉⁶⁾

(a) MO-OX-HP 用	
PbO	Type 100 Y, Hamond Lead Products, Inc., Hamond, Indiana.
La ₂ O ₃	Code 528, American Potash and Chemical Corp., N. Y.
ZrO ₂	CP grade, Tizon Chemical Corp., Flemington, New Jersey.
TiO ₂	Titanox, Type 3328, TAM Div. of National Lead Co., N. Y.
原料はすべて 99.5% 以上の高純度, 3 μm 以下の微粉末	
(b) CP-OX-HP 用	
PbO	Type 100 Y, Hamond Lead Products, Inc., Hamond, Indiana.
La(Ac) ₃	Powder dissolved in water to concentration of 6.0 wt % La ₂ O ₃ , Kerr-McGee Chemical Corp.
Zr(Obu) ₄	Zircon tetra- <i>n</i> -butoxide liquid, 28.5 wt% ZrO ₂ , Dyamit Nobel Sales Corp., Norwood, New Jersey.
Ti(Obu) ₄	Titanium-tetra- <i>n</i> -butoxide, liquid Tyzor TBT, 23.7 wt TiO ₂ , EI DuPont de Nemours and Company, Wilmington, Delaware.
原料はすべて 99.9% 以上の高純度	

表 2 PLZT の合成プロセス

MO 法の両プロセスを取あげて検討し、表 1 の原料粉と、表 2 の合成プロセスとをそれぞれ推薦している⁶⁾。

合成したセラミックの焼結状態は、試料の研磨面を 1,200°C の PbO 雰囲気中で 30 分間熱腐蝕し、現われた結晶粒界を光学顕微鏡で観察することにより評価できる。セラミックの粒径は焼結温度が高いほど、また焼結時間が長いほど大きくなる。たとえば焼結温度を一定に保った場合、粒径 D は焼結時間 t に対して次式で表わされる²⁾。

$$D = kt^{1/3} \quad (1)$$

ここで k は焼結温度等の条件に関する定数である。

PLZT の厚さ 0.2 mm の薄板の分光透過率を測定した結果⁵⁾⁷⁾⁸⁾を図 1 に示す。短波長 ($\lambda < 400 \text{ m}\mu$) の光は吸収されるが、長波長側は透過し、 $\lambda \approx 500 \text{ m}\mu$ ではほぼ透明になる。このため白色光では淡黄色に見えるのである。

ホットプレスで大型素子を作るのは困難であり、現状では Sandia 研究所および日立中研などで焼結した直径約 10 cm 止まりである。Snow ら⁹⁾ はホットプレスでなく、普通焼結で透明化を試みており、大型素子を期待できるが、目下、充分良好な透明体は得られてはいないようである。この PLZT の特性と応用についての歴史

図 1 7.6/70/30 PLZT 薄板の分光透過率 (0.2mm 厚, 20°C)

的展望は別に詳報されているから¹⁰⁻¹²⁾, 現状と将来に関して以下述べる。

3. 結晶構造と誘電的性質

PLZT の結晶構造は図 2¹³⁾ に示すように, 格子定数が約 $4.08\text{\AA}$ の灰チタン鉱 (ペロプスカイト) 型をなしており, 密度は約 7.8 g/cc である。PbZrO₃ と PbTiO₃ とは全域固溶体を作るが, PbZrO₃ は室温で正方晶系の強誘電体 (FE) であり, PbZrO₃ は斜方晶系の反強誘電体 (AFE) であるため, 固溶比に応じて結晶形が図 3¹⁵⁾ の相図に示したように変化する¹⁴⁾。

すなわち, 高温では立方晶系の等方体であるが, キュリー温度以下ではわずかに異方性が生じ, FE 性を示す擬立方格子に転移する。この転移温度は Pb の一部を

図 2 PLZT の結晶構造¹³⁾

図 3 Pb(Zr-Ti)O₃ 系固溶体の相図¹⁵⁾

図 4 La 濃度をパラメーターにして示した PLZT 固溶体系の相図⁷⁾

図 5 MPB 相図

La で置換するにつれて, 図 4⁷⁾ に示すように低下し, 同時に AFE_β 相が PbTiO₃ 側に向ってはり出してくる (図 5)¹⁶⁾²³⁾。

Pb の一部を La で置換した場合の結晶構造の変化は、 $x/65/35$ の組成に関し、O'Bryan^{17,18)}、その他¹⁹⁾ が詳細に検討した。La<7% は FE 菱面晶系、La>12% は PE 立方晶系に属することは明らかであるが、中間の 8%< x <11% の組成は擬立方晶系に属するものというだけで、X線回折結果から明確な同定ができるほどの格子ひずみはない*。

そこで、誘電的性質の面から検討が進められた。たとえば 8.4/65/35 PLZT は、室温で明確な D-E 履歴曲線を描き強誘電性を示す。誘電率の温度変化は図 6 のように 107°C ピークを示し、これより低温側では異常が観測できない。一方、室温で分極した試料を加熱したとき発生する焦電気をコンデンサに貯わえる方法で測定すると、飽和分極は 38°C 付近で突然消滅することがわかる。

この温度の少し高温で履歴曲線を測定すると、強制相転移を示す明確な二重履歴曲線²⁰⁾ (たとえば図 8) が観察される。一方、透光性も同様の温度変化を示し、38°C 以上では散乱光が消滅する (図 6 (c))。温度を下げて、再び散乱光が観測できるのは相当な低温であり、この変態温度は大きな熱履歴を示す。以上の事実を総合し熊田ら²⁰⁾はこの変態点は AFE/FE 1 次相転移であり、低温側はかなり広い範囲にわたって両相が共存することを指摘し、画像メモリー、ディスプレイ用高コントラストカ

図 6 8.4/65/35 PLZT の透電率 ϵ (a), 飽和分極 P_s (b), 散乱光量 I_s (c) の温度変化 (ϵ の山と P_s , $I_s \rightarrow 0$ の温度が異なる)

* 本稿の印刷中にこの構造に関する下記のすぐれた論文が発表されたので参照されたい。

E.T. Keve and K.L. Bye: J. Appl. Phys., 46 (1975) 810

図 7 PLZT 固溶系における La 濃度をパラメーターにした透光性の測定図

つ消去容易な材料として注目した³⁴⁾。

AEF/FE 共存試料は電場により強誘電相が誘起されるので、セラミック内の粒子の向きにより、菱面晶のほかに正方晶、斜方晶が誘起され polymorphic な構造になり、複雑な様相を呈するので Quasi²¹⁾-or Pen-ferroelectricity²²⁾ などの新語が作られ、特別な結晶構造を取る状態であると考えられていた。

La 濃度 x をパラメーターとし、各 La 値に対してそれぞれ Zr/Ti 比を変えたときの透光性を測定すると、図 7²³⁾ のような山形になる。この山頂はそれぞれの La 濃度における、FE/AFE 変態温度が室温と一致する組成に対応している。PLZT の透光性はこの変態相境界の組成で最大になる^{23,34)}。

4. 強誘電分域と強弾性分域のスイッチング

強誘電性の PLZT セラミックスは複屈折性の微結晶がランダムに集合した多結晶体であり、個々の微結晶の複屈折は全体としては相殺され、等方性を示す。印加電場で分極 P_s を 180° 反転しても、複屈折は現われない。一方、菱面体晶系の PLZT は図 2 に示すように、分極が 71° および 109° 回転した向きを取り得る¹³⁾。 P_s の回転スイッチ、すなわち強弾性スイッチングが生ずると、光学異方性が変化する²⁴⁾。球状を呈していた屈折率曲面は、分極操作で印加電場方向を軸とする回転楕円体になり、点群対称性が C_∞ で表わされる異方性を示し、1 軸負号 ($n_c < n_a$) の複屈折 Δn_{ac} が生ずる。 Δn の大きさは P_s の反転では変化せず、回転スイッチでのみ²⁴⁾ 変化するので、D-E ヒステリシスループを描いている途中の変化は P_s の変化には対応しないが、 P_s が飽和すれば Δn も飽和する^{7,8)}。

この複屈折 Δn の変化は回転スイッチングに対応する量の変化、たとえば結晶の変形を表わす自発ひずみ x_s

の変化と一致し、下記の関係が成立することが確認されている¹¹⁾。

$$\Delta n \propto \Delta x \quad (2)$$

電圧による強弾性スイッチングによる Δn の変化を複屈折モードの電気光学効果といい、画像蓄積等に用い得る²⁹⁾³⁰⁾。

強弾性スイッチングは結晶全体の弾性エネルギーを増大するので、これを緩和すべく複雑な強弾性分域構造を取ることがある。たとえば、交番電圧を印加して $P=0$ の消極状態を作ると複雑な分域構造に変わり光を激しく散乱するようになる。つぎに、分極が充分飽和し単分域に近い状態になると、光散乱はほとんどなくなる。このように散乱光量が電場で変化する現象を散乱モードの電気光学効果という²⁵⁾。PLZT セラミックスの強弾性分域を完全に消去することはできないので、散乱光量は 0 にはならず、強誘電セラミックの散乱モードの電気光学効果を用いたディスプレイのコントラスト比には限界がある³⁶⁾。

一方、前章で述べた自然状態では強誘電性を示さず完全に透明であるが、電場で強誘電状態を誘起でき、光散乱が激しくなるセラミックは、FE 相に近いエネルギー状態の PE 相または AFE 相にあり、電圧を印加すると FE 相への強制相転移が生ずる。強制相転移を生ずる組成では図 8 (a) のような二重履歴曲線と同時に (b) のような散乱光量の変化が観測される。

強制相転移を伴う散乱モードの電気光学効果は AF E 相の散乱光量が 0 になり、原理的なコントラスト比が無限大になること、および誘起された強誘電相は逆電場で簡単に AFE へスイッチするから、画像メモリー、ディスプレイに利用した場合、画像の消去が容易かつ短時間になることが特長であり、熊田ら²⁰⁾が Haertling ら²⁵⁾の FE 散乱モードと前後して発見した現象である。

図 8 PLZT 7.6/70/30 の電場による強制相転移を示す二重履歴曲線 (a) に伴う散乱光量の変化 (b)

5. 電気光学光シャッターへの応用

絶縁物結晶に電圧を印加したときの屈折率 n の変化 δn は次式で表わされる。

$$\delta n_{ij} \left(\frac{1}{n_{ij}^3} \right) = \gamma_{ijk} \cdot E_k + \frac{1}{2} R_{ijkl} : E_k \cdot E_l \quad (3)$$

第 1 項は Pockels 効果と呼ばれる圧電結晶においてのみ観測できる。第 2 項は Kerr 効果と呼ばれ、すべての結晶に現われるが、一般に変化が小さい。

電気光学シャッターは電気光学材料を一對の偏光装置でサンドイッチした構造のものである。古くはニトロベンゼンに数万 V の高電圧を印加して、動作させていた。電気光学シャッターを実用化するには固体化、低電圧化する必要があり、長年材料の開発が研究されて来た。

初期はもっぱら瞬間写真を対象にしていたので、画像を処理する関係上、広角度の入射光線に対しても、シャッターを閉じた状態で光の洩れないことが技術課題であった。このためには無電場で等方性を示す材料を用いねばならない。しかるに電気光学係数の大きな材料は表 4

表 3 PLZT x/65/35 の特性表

	6/65/35	7/65/35	8/65/35	9/65/35
結 晶 相	Rh	Rh	Rh	Tet/Cub
比体積	4.091	4.090	4.088	4.087
比 重	7.86	7.84	7.82	7.80
屈 折 率	2.52	2.52	2.52	2.53
複 屈 折	-9.3×10^{-3}	-9.0×10^{-3}	-7.9×10^{-3}	0
抗 電 場	10kV/cm	8.7kV/cm	6.8kV/cm	0
角 形 比*	0.75	0.80	0.90	—
$EDC(\lambda/2)$ **		3.5kV/cm	3.3kV/cm	11.8kV/cm
$EP(\lambda/2)$		19.5kV/cm	16.5kV/cm	21.3kV/cm

* 角形比 $= (P_a - P_b)/P_a$, ** 半波長電圧, DC: 直流, P: 70 ns パルス

表 4 各種材料の電気光学係数

$\gamma_c \times 10^{10}$ (m/V)		$R \times 10^{16}$ (m ² /V ²)	
LiNbO ₃	0.16	PLZT 9/65/35	9.12
LiTaO ₃	0.22	PLZT 10/65/35	1.07
KD ₂ PO ₄	0.53	PLZT 11/65/35	0.60
PLZT 8/40/60	1.02	KTa _{0.45} Nb _{0.55} O ₃	5.3
PLZT 12/40/60	1.09		
(Sr _{0.8} Ba _{0.2})Nb ₂ O ₆	2.10		
PLZT 8/65/35	6.12		
(Sr _{0.75} Ba _{0.25})Nb ₂ O ₆	14.00

図 9 PLZT シャッターの部品と配置図

2枚の直交偏光板 (P₁ および P₂) 間に PLZT 素子に対角位 (電圧印加方向が偏光の振動面と 45°) に配置し、補償器 C の光軸を分極と 90° に挿入する。(Landry, et al: Transmission Switching Characteristics of PLZT Shutters, Appl. Optics, 12 (1973) 2312)

に示すごとく、ほとんどが強誘電体等光学異方体であり、広角入射光に対しては不都合である。

しかるに近年、レーザーの発展に伴ない、光通信などビームを変調またはスイッチすることが技術課題となり、広角化よりはむしろ低電圧、高周波、高速化が重要となって来た。これには電気光学効果が大きく、誘電率の小さい材料が有利である。

表 3 および表 4 から明らかにように、PLZT は単結晶にもおとらない電気光学材料であり、しかも図 9 のレーザー用 Q スイッチ素子²⁷⁾に用いる検討がされたほど高速性がある。

ここでは、ビームオブツックスではなく、まえがきにも述べたごとく、オブツックスの空間処理能力を活かした画像処理の分野を対象として考えよう。広角化の条件、すなわち $E=0$ で $\Delta n=0$ を満足するには非強誘電体を用いなければならない。強誘電体をキュリー温度直上に保つと、一般に $\Delta n=0$ になり (PE 相が等方体になる場合)、電気光学効果が大きくなるが、同時に誘電率も大きくなり高周波での利用が不都合になる。

PLZT では La 濃度が増すと AFE_β 相が PbTiO₃ 側に移動し (図 5)、たとえば La=0.084 では Zr/Ti=65

/35 の固溶比付近に AFE/FE 組成変態相境界 (morphotropic phase boundary: MPB) が現われる³⁴⁾。図 6 に見るように MPB では誘電率もさほど小さくなく、しかも電気光学効果の温度変化も通常のキュリー点付近より小さいので、カメラ用光シャッター等に適している。PLZT-9/65/35 を用いた厚さ約 0.2 mm の板の両面にストライプ状の電極をつけ、パルス電圧により分極を面内に発生する横モードの閃光保護用等の光シャッターが作れる²⁸⁾。

6. 画像蓄積素子の構造と動作

PLZT 板の片面に光導電膜 (P. C) を付け両外側から透明電極でサンドイッチした 4 層構造の FE/PC 素子を作り、PC 膜面にスライド等の画像を結像し、同時に直流電圧を印加すると、この画像を定着できる^{29)~31)}。定着された画像は安定に蓄積でき、直線偏光を照射すると、画像を蓄積している部分の分極のため、偏光面が乱されて自然光に近くなるので、検光板を用いて可視像を再生できる。素子の片面を Al 電極と変えて反射面を作り、λ/4 板と偏光板とを組合せた円偏光板を通して蓄積像を観察すると、周囲光の反射で白黒像が再生できる。偏光方式ではコントラスト比は大きくなるが、再生像が暗くなりしかも干渉効果で画質が低下することなどの欠点がある。

散乱モードのディスプレイは本来偏光板は不要であり³¹⁾、前述の反射型ディスプレイの場合も、円偏光板を除去した方が画質が良く鮮明な像になるが、コントラスト比が観察方位によって変化することが問題である。これは PLZT の散乱角が狭いからであり³²⁾³⁵⁾³⁷⁾、広角化が待たれている。

反射型の代わりに、両面とも透明電極にして平行光を透過させ、これをレンズで集光した焦点に小さなストップまたはアパーチャーを配置して、散乱光と非散乱光とを分離し、いずれかでスクリーン上に映像を作る³⁴⁾¹⁶⁾。アパーチャーの場合は短波長光がより散乱してしまった残りの直接光で結像されるので、原像とはネガ・ポジ逆の赤味がかかった像になり、ストップの場合は散乱光による白黒像になる³³⁾。スクリーン上の投影像であるから観察方位によらず鮮明な像となる。

厚さ 0.2 mm、大きさ 28 mm×28 mm の 7.6/70/30 PLZT 角板を用いて図 10 の FE/PC 素子を作り、コントラスト比 25:1 以上、解像度 20 本対/mm 以上 (素子面で) の鮮明な画像が映像されている³³⁾³⁴⁾³⁶⁾。

FE/PC 素子は画像の蓄積消去を繰り返せるのが特長であるが、高コントラストの再生像を得るには、前の像を完全に消去せねばならない。FE 相の PLZT を用いた

図 10 画像蓄積・表示素子の構造図
(ITO, PLZT, PVCz および ITO の 4 層構造の素子を 28mm×28mm の大きさの枠にマウントする画像蓄積・表示素子の構造を示す)

図 11 画像再生および消去の説明図

場合は、試料の電極面内に電流を流して加熱消去するが、キュリー温度以上に加熱するのに数秒を要する²⁶⁾。

この点、強制相転移型の素子では図 11 に示すように、透明電極面内に 5ms 幅、周期 10ms のパルス電流を両端部から逆位相で交互に 10 パルス流して、加熱すると同時に逆バイアス電圧を印加する方法で 0.1 秒間に消去で

写真 2 PLZT 素子が画像の部分書換えのできる機能を持つことを応用した絵合せゲーム

(4 行×4 列 16 画面に 8 対の絵が伏せてあり、任意の場所を 1 枚ずつ出していき、対の絵ができれば続行、できなければ消去して、対の絵が出るまでさがす。いま 3 組とって魚の絵をさがしているところをスクリーン上に示す。8 組全部そろえる早さを競う)

きる³⁴⁾。

画像を定着するには光と電圧を同時に印加しなければならない。画面を部分的に露光するとか多重露光の方法で画像の合成ができる。蓄積した画像を消去するには、光と電圧と熱を同時に印加しなければならないから、消去動作のさい、画面の任意の部分のみ一様に照明してその部分を消去し画面を部分的に書換えることができる(写真 2¹⁶⁾³⁴⁾。

7. ディスプレイへの応用

PLZT の FE/PC 素子が画像の一時記録または編集¹⁶⁾およびコヒーレント・インコヒーレント変換²³⁾に利用できることを前述した。FE/PC 素子はこのほかにも、レーザー光のような光ビームを変調・走査して画像をディスプレイすることもできる。この場合、ビデオ信号を入力し 60 コマ/sec の画像を表示するには PC 膜の光照射電流が弱すぎ、低速走査になる³⁷⁾³⁸⁾。しかし、メモリー性があるから画面構成速度が低下してもちらつかず、部分書換えも可能である。このため、画像伝送周波数の帯域圧縮に役立ち、テレビ電話、教育システム用ディスプレイパネル等への応用が検討されている³⁷⁾。

フィリップス社で開発した TITUS 管³⁹⁾はブラウン管の蛍光体を KD*P という強誘電単結晶 (KD_2PO_4) でおきかえ、電子線で照射された部分の複屈折が変化するのを利用して、鮮明な画像を表示できるが、 -60°C のキュリー温度以下に冷却しなければならない欠点がある。PLZT を用いて、室温で使える TITUS 管が研究されている。

PLZT の表面にセグメント状の透明電極を付け、裏面に Al 等の金属電極を付けた反射型の数字等表示素子³³⁾³⁶⁾⁴⁰⁾は書換え時のみ電力を消費するが、メモリー性があるから表示電力は不要である。寿命は 10^{11} 回以上の動作に耐えるので液晶に代わる安定な表示材料として注目さ

写真 3 PLZT マトリックスディスプレイ素子
(X ライン、Y ラインとも 2 本ずつペアに表示したチェッカーボードパターン、1 bit の大きさは約 $0.5 \times 0.7 \text{ mm}^2$)

れている。

PLZT 薄板の一面にストライプ状の透明電極を縦方向につけ、他面には横方向に付けたマトリックス素子を用いて、電気信号で画像等を表示する平面ディスプレイの研究も進められている³³⁾⁴¹⁾⁴²⁾。PLZT はスイッチング速度が速く ($t_s=60\text{ ns}$ まで測定されている)、閾値特性も明確⁴³⁾な特長はあるが、駆動電圧が高く、スイッチング電流が多いので、IC 回路での駆動が困難な欠点がある。

8. む す び

オプトセラミックス PLZT の合成方法、結晶構造、誘電的性質と光学的性質について述べ、光シャッター、画像蓄積およびディスプレイ等への応用に関する現状を展望した。PLZT は幼年期から少年期に入ろうとしている材料であり、仲間の数も少なく、専門分野も未決定であり、今後の成長方向を予測することは困難である。

とはいうものの、安定な固体素子で、スイッチングが速く、閾値特性があり、長寿命であるなどのほかに、広角光シャッター、暗室不要現象不要の可逆感光材料、メモリー付ディスプレイ等の機能的な特長は新デバイス、システムの開発にもつながるので、画像エレクトロニク

ス、テレビ技術においても注目すべきであり、低電圧低電流駆動の鮮明画像の表示材料への改善が待たれる。

(昭和 50 年 2 月 22 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) G.H. Haertling and W.J. Zimmer: An Analysis of Hot-pressing Parameters for Lead-Zirconate Titanate Ceramics Containing Two Atom Percent Bismuth, *Amer. Ceram. Bull.*, **45** (1966) 1085-1089
- 2) G.H. Haertling: Grain Growth and Densification of Hot-pressed Lead Zirconate-Lead Titanate Ceramics Containing Bismuth, *J. Amer. Ceram. Soc.*, **49** (1966) 113-118
- 3) G. H. Haertling: Hot-pressed Ceramics for Electro-optic Applications, *Amer. Ceram. Soc. Bull.*, **47** (1968) 389
- 4) C.E. Land and P.D. Thacher: Ferroelectric Ceramic Materials and Devices, *Proc. IEEE*, **57** (1969) 751
- 5) P.D. Thacher and C.E. Land: Ferroelectric Electro-optic Ceramics with Reduced Scattering, *IEEE Trans.*, **ED-16** (1969) 515
- 6) G.H. Haertling and C.E. Land: Recent Improvements in the Optical and Electrooptic Properties of PLZT Ceramics, *Ferroelectrics*, **3** (1972) 269
- 7) G.H. Haertling and C.E. Land: Hot-Pressed (Pb, La) (Zr, Ti)O₃ Ferroelectric Ceramics for Electro-optic Applications, *J. Amer. Ceram. Soc.*, **54** (1971) 1
- 8) G.H. Haertling: Improved Hot-Pressed Electro-optic Ceramics in the (Pb, La) (Zr, Ti) O₃ System, *J. Amer. Ceram. Soc.*, **54** (1971) 303
- 9) G.S. Snow: Paper No. 15-72, Electron Division, presented at the 74th Annual Meeting of American Ceramic Society, Washington, D.C.
- 10) 和久茂: 透明強誘電体磁器の特性と応用, *応用物理*, **43** (1974) 1243
- 11) C.E. Land, P.D. Thacher and G.H. Haertling: *Electrooptic Ceramics*, Applied Solid State Science, **4**, R. Wolfe, Ed., Academic Press (1974)
- 12) 電子材料工業会: 圧電セラミックスとその応用, 電波新聞社
- 13) H.M. O'Bryan, Jr. and A.H. Meitzler: Enhanced Ordering of Ferroelectric Domains in PLZT Ceramic, *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **51** (1972) 479
- 14) G. Shirane and K. Suzuki: Crystal Structure of Pb(Zr-Ti)O₃, *J. Phys. Soc. Japan*, **7** (1952) 333
- 15) B. Jaffe, W.R. Cook, Jr. and H. Jaffe: *Piezoelectric Ceramics*, Academic Press, (1971) 136
- 16) 熊田明生: 透明セラミックを生いた新しい画像蓄積・表示材料, *日立評論*, **56** (1974) 791
- 17) H.M. O'Bryan, Jr.: Phase Relations in PLZT with Zr/Ti=65/35, *Am. Cer. Soc. Bull.*, **51** (1972) 355
- 18) H.M. O'Bryan, Jr.: Phase Relations in (Pb, La) Zr_{0.65} Ti_{0.35} O₃, *J. Am. Cer. Soc.*, **56** (1973) 385
- 19) E.T. Keve and A.D. Annis: Studies of Phase Transitions and Properties of Some PLZT Ceramics, *Ferroelectrics*, **5** (1973) 77
- 20) A. Kumada: An Electrooptic Image Storage Device using Field Induced Reversible Transitions between AFE and FE Phase of PLZT Ceramics, *Ferroelectrics*, **7** (1974) 367
- 21) K. Carl and K. Geisen: Dielectric and Optical

写真 4 76/70/30 PLZT を用いた反射型の画像蓄積・表示素子
(直径 70 mmφ の円柱原石から 0.2 mm 厚の矩形板をスライスし、4 枚寄せ集めて 5.5 インチの画面を作った)

- Properties of Quasi-Ferroelectric PLZT Ceramic, Proc. IEEE, **61** (1973)
- 22) A. H. Meitzler and H. M. O'Bryan, Jr.: Polymorphism and Pseudoferroelectricity in PLZT Ceramics, Proc. IEEE, **61** (1973) 959
 - 23) A. Kumada, K. Suzuki and K. Kitta: PLZT Analogue Space Modulator, Solid State Device Conference, Tokyo Aug. (to be published in the Suppl. Japan. J. Appl. Phys.)
 - 24) 熊田明生: 強誘電・強弾性結晶の光学応用, 応用物理, **43** (1974) 443
 - 25) G. H. Heartling and C. B. McCampbell: A New Longitudinal Mode for Ceramic Electrooptic Devices, Proc. IEEE, **60** (1972) 450
 - 26) J. R. Maldonado and H. M. O'Bryan, Jr.: Influence of the Lanthanum Content on the Electrooptic Properties of PLZT Ceramics, Ferroelectrics, **5** (1973) 281
 - 27) M. J. Landry and A. E. McCathy: Sandia Labs. Research Report, **SC-PR-720** (1972) 384
 - 28) J. O. Harris, Jr. and J. T. Cutchen: Electrooptic Variable Density Optical Filter, Digest of Technical Papers, Soc. for Inform. Display Intl. Sym., **3** (1972) 16
 - 29) A. H. Meitzler and J. R. Maldonado and D. B. Fraser: Image Storage and Display Devices using Fine-Grain Ferroelectric Ceramics, Bell. Syst. Tech. J., **49** (1970) 953
 - 30) J. R. Maldonado and A. H. Meitzler: Strain-Biased Ferroelectric Photoconductor Image Storage and Display Devices, Proc. IEEE, **59** (1971) 368
 - 31) W. D. Smith and C. E. Land: Scattering-Mode Ferroelectric-Photoconductor Image Storage and Display Devices, Appl. Phys. Lett., **20** (1972) 169
 - 32) A. L. Dalisa and R. J. Seymour: Convolution Scattering Model for Ferroelectric Ceramics and Other Display Media, Proc. IEEE, **61** (1973) 981
 - 33) 熊田明生, 戸田堯三: ディスプレイメモリ用材料 PLZT, 信学会部品・材料研資, CPM-74 (1974) 28 および, 熊田明生: 透明セラミックを用いた画像蓄積・表示材料, 第5回画像工学コンファレンス (1974) 7-2
 - 34) A. Kumada: Ferroic Erase-Write Image Storage Device, **Paper-20**, Tokyo Sym. PSE (1973-Nov.)
 - 35) 鈴木堅吉, 熊田明生: PLZT の光散乱現象, 物理学会 1974春の分科会, 4 P-KB-10, 金沢大学
 - 36) W. D. Smith and C. E. Land: Ferroelectric Ceramic Light Scattering Devices for Image Storage and Display, Digest of Tech. Papers, Soc. for Info. Display Intl. Sym. (1974) San Diego
 - 37) J. R. Maldonado and D. B. Fraser: PLZT Ceramic Display Devices for Slow-Scan Graphic Projection Displays, Proc. IEEE, **61** (1973) 975
 - 38) J. A. DiSabato and D. B. Fraser: Evaluation of PLZT Ceramic Display Device for High Speed Interactive Data Displays, Preprint
 - 39) G. Marie and J. Donjon: Single Crystal Ferroelectrics and Their Application in Light-Valve Display Devices, Proc. IEEE, **61** (1973) 942
 - 40) C. E. Land and W. D. Smith: PLZT Ceramic Numeric Display Devices, Preprint
 - 41) H. N. Roberts: Strain-Biased PLZT Input Devices (Page Composers) for Holographic Memories and Optical Data Processing, Appl. Optics, **11** (1972) 397
 - 42) M. D. Drake: PLZT Matrix-Type Block Data Computers, Appl. Optics, **13** (1974) 349
 - 43) 石田宏司, 熊田明生: PLZT のスイッチング特性, 物理学会第29回年会, 12 P-U-3, 千葉工大 (1974. 10)