Preparation of <001>Oriented PZT Thin Films and the Applications to Micro Piezoelectric Devices

Ryoichi Takayama Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Eiji Fujii Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Takeshi Kamada Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Akiko Murata Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Taku Hirasawa Member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Atsushi Tomozawa Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Satoru Fujii Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Hideo Torii Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Koji Nomura Non-member (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

Keywords : PZT, piezoelectric thin film, ferroelectrics, sputtering deposition, angular rate sensor, piezoelectric actuator, inkjet printer head

$\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ (PZT) are attractive materials for sensors and actuators in MEMS because of their excellent piezoelectric properties. We found that the <001>-oriented PZT thin films deposited on MgO substrate by rf-magnetron sputtering, had excellent piezoelectric properties without a poling treatment.

In this study, we investigated the preparation of <001>-oriented PZT thin films on Si substrate, and their applications to the angular rate sensors and the actuators of the inkjet printer head.

PZT thin films, which have a composition near the morphotropic phase boundary, were deposited on (100)Pt/(100)MgO and (111)Pt/Ti/(100)Si substrates by rf-magnetron sputtering. The substrate temperature is 500-650°C. A sintered ceramic target with a composition of $[\text{0.8}(\text{PbZr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47}\text{O}_3)+\text{0.2}(\text{PbO})]$ was used. (111)Pt thin films are deposited by rf-magnetron sputtering on (100)Si substrates with Ti adhesion layer. Film thickness of the PZT films were 2.0-4.0 μm .

The <001>-oriented PZT thin films were obtained on (100)Si substrates by means of the optimizing the sputtering conditions of PZT and (111)Pt/Ti thin films. Figure 1 shows the XRD pattern of the PZT thin films deposited on (111)Pt/Ti/(100)Si substrates.

The piezoelectric properties of the PZT thin films were examined on the micro fabricated cantilever structure. Table 1 shows the dielectric and piezoelectric properties of the

<001>-oriented PZT thin films. The PZT thin films on Pt/MgO have high piezoelectric coefficient $d_{31}=100\times 10^{-12}\text{m/V}$, extremely low $\epsilon_r=240$, and remarkably high electromechanical coupling coefficient k_{31} . The PZT thin films on Pt/Ti/Si have very high d_{31} of $150\times 10^{-12}\text{m/V}$ and $\epsilon_r=700$. Both of these thin films show excellent piezoelectric properties without a poling treatment.

The PZT thin films were applied to the angular rate sensors with a tuning fork type and the actuators of the ink-jet printer heads with 400 pressure chambers.

Figure 2 show the photographs of the angular rate sensors. These sensors have high sensitivity of $25\text{mV}/(\text{deg s}^{-1})$.

These PZT thin films are suitable for the use in micro piezoelectric sensors and actuators.

Table 1. Dielectric and piezoelectric properties of the <001>-oriented PZT thin films

	Piezoelectric coefficient : d_{31} [10^{-12}m/V]	Relative dielectric constant : ϵ_r	Electromechanical coupling coefficient : k_{31}
<001>PZT/Pt/MgO	100	240	0.62
<001>PZT/Pt/Si	150	700	0.55

Fig. 1. XRD pattern of the PZT thin films deposited on (111)Pt/Ti/Si

Fig. 2. The tuning fork type angular rate sensors. (a) The angular rate sensors after the Si tuning fork forming process. (b) The top of the Si tuning fork

<001>配向 PZT 薄膜の作製とマイクロ圧電素子への応用

非会員 高山 良一* 非会員 藤井 映志*
 非会員 鎌田 健* 非会員 村田 晶子*
 正 員 平澤 拓* 非会員 友澤 淳*
 非会員 藤井 覚* 非会員 鳥井 秀雄*
 非会員 野村 幸治*

Preparation of <001> Oriented PZT Thin Films and the Applications to Micro Piezoelectric Devices

Ryoichi Takayama*, Non-member, Eiji Fujii*, Non-member, Takeshi Kamada*, Non-member,
 Akiko Murata*, Non-member, Taku Hirasawa*, Member, Atsushi Tomozawa*, Non-member,
 Satoru Fujii*, Non-member, Hideo Torii*, Non-member, Koji Nomura*, Non-member

Preparation of <001>-oriented $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ (PZT) thin films and their applications to the micro-piezoelectric devices were investigated. The <001>-oriented PZT thin films, which have a composition near the morphotropic phase boundary, were deposited on Pt/MgO and Pt/Ti/Si substrates by rf-magnetron sputtering. Both of these thin films show the excellent piezoelectric properties without a poling treatment. The piezoelectric properties of the PZT thin films were examined on the micro fabricated cantilever structure. The PZT thin films on Pt/MgO have high piezoelectric coefficient $d_{31}=100 \times 10^{-12}\text{m/V}$, extremely low $\epsilon_r=240$, and remarkably high electromechanical coupling coefficient k_{31} . The PZT thin films on Pt/Ti/Si have very high d_{31} of $150 \times 10^{-12}\text{m/V}$ and $\epsilon_r=700$. The PZT thin films on Pt/Ti/Si were applied to the angular rate sensors with a tuning fork type and the actuators of the ink-jet printer heads with 400 pressure chambers. These PZT thin films are suitable for the use in micro piezoelectric sensors and actuators.

キーワード：PZT 圧電薄膜，強誘電体，スパッタリング法，角速度センサ，圧電アクチュエータ，インクジェットプリンタヘッド

Keywords: PZT piezoelectric thin films, ferroelectrics, sputtering deposition, angular rate sensor, piezoelectric actuator, inkjet printer head

1. まえがき

強誘電体は，高い誘電率，優れた圧電性・焦電性・強誘電性や電気光学特性をもつ興味深い材料であり，多岐にわたる電子デバイスに応用されている。これらの強誘電体を利用したデバイスも，高周波化・高効率化・低電圧化・小型化・集積化等の要求が高まっており，強誘電体の薄膜化が強く要望されている。

電気信号と機械信号とを相互に変換する圧電性を有する

材料は，MEMS プロセス技術の発展により，マイクロセンサやマイクロアクチュエータのキー材料のひとつとして注目されている。なかでも，チタン酸ジルコン酸鉛 (PbZrTiO_3 : PZT) は，ペロブスカイト構造の強誘電体で，モルフォトロピック相転移境界近傍では，圧電特性が著しく高められるので，その薄膜化の研究開発が盛んに行われている^{(1)~(3)}。

われわれは RF マグネトロンスパッタリング法を用いて幅広い応用が期待できるペロブスカイト型構造の強誘電体薄膜に関する研究開発を行ってきた^{(4)~(6)}。分極軸となる<001>方向に配向させて，高い焦電特性や圧電特性を示すチタン酸鉛系薄膜，PZT 薄膜を MgO 単結晶基板上に作製することができた^{(4)~(10)}。同時に，従来の強誘電体材料にはみられない，作製時から分極方向が揃う現象を見出した。さらに，MEMS 技術と融合したマイクロ圧電素子への応用を目指し，Si 基板上に高い圧電特性を示す薄膜材料の作製を試みた。その結果，RF マグネトロンスパッタリング法により Si 基板上に<001>配向 PZT 薄膜を作製することができるよ

* 松下電器産業 (株)
 <代表>
 先行デバイス開発センター
 〒570-8501 大阪府守口市八雲中町 3-1-1
 Advanced Devices Development Center, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
 3-1-1 Yagumo-naka-machi, Moriguchi City, Osaka 570-8501
 先端技術研究所 ナノテクノロジー研究所
 〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 3-4
 Nonotechnology Research Laboratory Advanced Technology Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
 3-4 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-0237

うになった。また、Si 基板上に作製した PZT 薄膜においても、分極処理をしなくとも高い圧電特性が得られた。

本稿では、本薄膜の作製と特性、ならびに、本薄膜を用いた角速度センサやインクジェットプリンタ (IJP) ヘッド用アクチュエータの作製とそれらの特性について述べる。

2. <001>配向 PZT 薄膜の作製

PZT 薄膜は、RF マグネトロンスパッタリング法により作製した。ターゲットには、モルフォトロピック相境界近傍の組成に 20mol% 過剰の PbO を混合した焼結体 $[0.8(\text{PbZr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47}\text{O}_3)+0.2\text{PbO}]$ を用いた。基板は、Si(100)に Ti 密着層と Pt を形成したものと、比較のため、(100)でへき開した MgO 単結晶に(100)Pt を形成したものの 2 種類である。Pt はスパッタリング法で形成し、その膜厚は 50~100nm である。スパッタリング条件としては、基板温度を 500~650°C、成膜速度を 10~50nm/min.と変化して、膜厚が 2~4 μm の PZT を作製した。

3. <001>配向 PZT 薄膜の特性

〈3・1〉 結晶性・配向性 作製した PZT 薄膜の結晶構造・配向性は X 線回折で評価、薄膜のマイクロ構造は SEM で観察した。また、薄膜の組成は、ICP 質量分析と X 線マイクロアナライザーにより評価した。PZT 薄膜の Zr/Ti 比は、ターゲット組成とほぼ一致した。

Fig. 1. XRD pattern of the PZT thin films deposited on (100)Pt/(100)MgO single crystal substrate.

Fig. 2. XRD pattern of the PZT thin films deposited on (111)Pt/Ti/Si substrate.

ペロブスカイト構造の薄膜は、基板温度 550~650°C で安定して得られた。これらの基板温度の範囲では、基板温度とともに Pb/(Zr+Ti)比が低下し、基板温度 650°C で化学量論的組成 1 に近づいた。

(100)Pt/MgO 単結晶基板上には、ペロブスカイト構造の PZT 薄膜が 540°C 以上でエピタキシャル成長した。図 1 に、基板温度 600°C で(100)Pt/MgO 基板上に作製した PZT 薄膜の X 線回折パターンを示す。格子定数が 0.414nm で、正方晶の c 軸<001>に配向している。

Si 基板上には、下地電極やスパッタ条件の最適化で<001>配向の PZT 薄膜が得られた。図 2 は、(111)Pt/Ti/(100)Si 基板上に作製した PZT 薄膜の X 線回折パターンである。(001)面の強いピークが観測され、<001>に配向している。

図 3 に、(111)Pt/Ti/Si 上に作製した PZT 薄膜断面の SEM 像を示す。緻密な柱状構造の膜が形成できている。

〈3・2〉 圧電測定方法 3 種類の構造を持つ試料 A,B,C を作製し圧電特性を測定した。試料 A と B は、カンチレバー構造の試料である。試料 A は、基板上に Pt 電極、PZT 薄膜、上部電極を形成し、Pt 電極は Ar イオンエッチングで、PZT は HF と HNO₃ によるウェットエッチングでパターン化した。その後、基板をエッチングで除去した。基板側と上部の電極の膜厚は 100nm と同じ膜厚にし、カンチレバーの幅は 50 μm 、長さは 100~500 μm である (図 4 参照)。

試料 B は A の上部 Pt 電極上に、非圧電層として感光性のポリイミド膜を 2 μm 形成した構造である⁽⁹⁾。試料 C は、基板をエッチングしないでそのままにして、基板の幅を 3mm、長さ 14mm の短冊に加工して、これを片端で固定した。

試料 A の試料では、電圧を印加して横方向の伸び縮みをレーザー顕微鏡で測定した。そして、次式より圧電定数 d_{31} を求めた。

$$d_{31} = \frac{dl}{l} \frac{t}{V} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 t : PZT の膜厚、 V : 印加電圧、

l, dl : カンチレバーの長さ、伸び

また、試料 B,C では、正弦波電圧を印加して、その撓み振動の変位量 δ をレーザードップラー振動計で測定した。そして、次式より圧電定数 d_{31} を求めた。

Fig. 3. SEM images of the cross section of the <001>-oriented PZT thin films.

Fig. 4. The sample A with the cantilevers for piezoelectric measurement.

$$\delta = \frac{3d_{31}s_1s_2t_1(t_1+t_2)l^2V}{s_1^2t_2^4 + 4s_1s_2t_1t_2^3 + 6s_1s_2t_1^2t_2^2 + 4s_1s_2t_1^3t_2 + s_2^2t_1^4} \quad (2)$$

ここで, t_1, t_2 : PZT, Si またはポリイミドの膜厚,
 s_1, s_2 : PZT, Si またはポリイミド膜の弾性コンプライアンス。

〈3・3〉 圧電特性 MgO 基板上に作製した<001>配向 PZT 薄膜で 3 種類の構造を有する試料 A, B, C を評価した結果, 同じスパッタリング作製条件で作製した PZT 薄膜では, 試料 A, B, C とも d_{31} の値は, $-100 \times 10^{-12} \text{m/V}$ と, ほぼ同じ値が得られた。ただし, すべての試料は, 分極処理を行っていない。また, PZT 薄膜の弾性コンプライアンスの値を, カンチレバーのアドミッタンスの共振周波数から $s_1 = 10.8 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$ とした。

Si 基板上に作製した PZT 薄膜では, 試料 C で撓み振動の変位量を測定し, 圧電特性を評価した。圧電定数 d_{31} の値は $-150 \times 10^{-12} \text{m/V}$ が得られた。ただし, Si 基板上 PZT の試料も, すべて分極処理を行っていない。

図 5 に, Si 基板上に作製した PZT 薄膜の圧電定数 d_{31} , 比誘電率 ϵ_r とスパッタ作製時の基板温度との関係を示した。基板温度が 570°C 以上で高い圧電定数が得られ, それ以上の温度では, 温度とともに圧電定数は低下している。ペロブスカイト構造の PZT が作製できる基板温度では, 基板温度とともに Pb/(Zr+Ti)比が低下していることから, 少し Pb リッチな組成で圧電定数 d_{31} がピークを示した。

図 6 に, カンチレバー構造で測定した変位特性を示す。電圧に対して良好なリニアリティを示している。

Fig. 5. Relationship between d_{31} , ϵ_r of <001>-oriented PZT and the substrate temperature.

Fig. 6. Displacement property of the <001>-oriented PZT thin films.

比誘電率 ϵ_r の測定値 (LCR メーター, at 1kHz) は, MgO 基板上 PZT 薄膜が 240 と小さく, Si 基板上の PZT 薄膜は, 700 の値が得られた。これらの ϵ_r の値は, PZT 薄膜の<001>配向性と内部応力に強く依存していると考えられる。MgO 基板上の PZT 薄膜には, スパッタ中の成長過程で生じる圧縮応力となる真性応力に, PZT より基板の方が大きな熱膨張係数であるために生じる圧縮応力となる熱応力が加わり, 膜中には大きな圧縮応力が存在する。つまり, 非常に大きな圧縮応力により膜面方向では拘束された状態になっている。また, Si 基板上の PZT 薄膜は, 圧縮応力である真性応力と引張り応力となる熱応力で, 最終的に引張り応力が残存していると思われる。なお, $\text{PbZr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47}\text{O}_3$ の組成では, 応力: T が一定のとき, 誘電率 $\epsilon_{33}^T = 580$, $\epsilon_{11}^T = 1080$, また, x 軸方向に伸縮を許さないように拘束したときの誘電率 $\epsilon_{33}^S = 300$ の値が示されている⁽¹¹⁾。

電気機械結合係数 $k_{31} = d_{31} / (\epsilon_{33}^T s_{11}^E)^{1/2}$ を計算した。PZT/MgO で 0.62, PZT/Si で 0.55 と大きな値が得られた。

MgO 基板と Si 基板上に作製した<001>配向 PZT 薄膜の誘電・圧電特性をまとめて表 1 に示す。

Table 1. Properties of the <001>-oriented PZT thin films.

	Piezoelectric coefficient : d_{31} [10^{-12} m/V]	Dielectric constant : ϵ_r	Coupling coefficient : k_{31}
<001>PZT/Pt/MgO	100	240	0.62
<001>PZT/Pt/Si	150	700	0.55

$$\text{Coupling coefficient : } k_{31} = d_{31} / (\epsilon_{33}^T S_{11}^E)^{1/2}$$

4. PZT 薄膜を用いた圧電素子

〈4・1〉 角速度センサ <001>配向 PZT 薄膜を用いた角速度センサ（音叉型振動ジャイロ）の構造模式図を図 7 に示す。(100)Si 基板上に Pt/Ti（下地電極）、<001>配向 PZT 薄膜、上部電極を成膜後、膜のパターンニングを行い、それぞれの電極膜と PZT をエッチング除去する。最後に Si をドライエッチングで音叉の形状に仕上げた。

電極には、音叉のアームを図の x 軸方向に速度 V で互いに逆相で振動させる駆動電極と、y 軸の周りに角速度が入力されると z 軸方向に発生するコリオリ力による音叉アームの撓みで発生する電気信号を検出する電極とが、PZT 薄膜上に同一平面状に同時に形成されている。

ドライエッチングにより Si 音叉に加工した音叉型振動ジャイロ素子群の写真を図 8(a)に示す。また、Si の音叉アームの先端部を図 8(b)に示す。この音叉アームは、厚さ $200 \mu\text{m}$ にわたってほぼ垂直になるように加工し、音叉不要信号を極めて小さくすることができた。

高い d_{31} 、 k_{31} と、良好なリニアリティを示す変位特性とを有する<001>配向 PZT 薄膜と、Si のドライエッチングによる高精度に形成した音叉により、カーナビゲーションに要求される $25\text{mV}/(\text{deg}\cdot\text{s}^{-1})$ の感度を実現した。

表 2 に、角速度センサの諸特性を示す。

〈4・2〉 インクジェットプリンタヘッド用アクチュエータ PZT 薄膜と振動膜からなるアクチュエータ部、圧力室、インク共通液室、ノズルから構成され、400 ノズル、400 圧力室をもつアクチュエータアレイを作製した。

図 9 に、<001>配向 PZT 薄膜を用いたインクジェットプリンタヘッドの 1 ノズル・1 圧力室に対応した断面模式図を示す。また、図 10 に、400 ノズルのアクチュエータアレイを上部（Pt 薄膜側）から見た写真を示す。100 ノズルが 4 列に配置され、白く光っているところが各 Pt 電極である。

基板上に、下地電極膜、<001>配向 PZT 薄膜、金属振動膜を成膜後、膜のパターンニングを行い、下地電極膜、PZT 膜をエッチング除去し、各圧力室上に配置できるように形成する。アクチュエータ部の変位と共振周波数を測定後、インク室・流路をもつエレメントと撥水膜をコーティングしたノズルを形成したエレメントをボンディングして作製した⁽¹²⁾。

インクは、共通液室から供給孔を通じて個別の圧力室・ノズルまで充填される。圧力室上部に形成されたアクチュ

Fig. 7. Structure of the angular rate sensors.

(a) The angular rate sensors after the Si tuning fork forming process

(b) The top of the Si tuning fork

Fig. 8. The tuning fork type angular rate sensors.

Table 2. Characteristics of the tuning fork type angular rate sensors.

Sensitivity	$25 \text{ mV}/(\text{deg}\cdot\text{s}^{-1})$
Output Noise	$<10 \text{ mV}_{\text{p-p}}$
Output Voltage Range	$0.3 \sim 4.7 \text{ V}$
Operating Temp. Range	$-40 \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$

エータ部のたわみ振動により、圧力室内のインクに圧力を加え、ノズルよりインクが吐出される。

$3 \mu\text{m}$ の PZT 薄膜によるアクチュエータ部により、小型化・高速化・低電圧化が可能となり、微量吐出・マルチパス多値吐出制御・安定吐出・高寿命化 ($>10^{10}$ drops) が実現された。

Fig. 9. The structure of the actuator for inkjet printer head.

Fig. 10. The line head with 400 nozzles and 400 pressure chambers.

5. あとがき

RFマグネトロンスパッタリング法によるPZT薄膜の作製と、その音叉型角速度センサ・インクジェットプリンタ用アクチュエータへの応用に関する研究開発を行った。

下地電極Pt/TiやPZTスパッタリング条件の最適化で、Si基板上に緻密な膜構造をもつ<001>配向PZT薄膜を作製することができた。圧電評価の結果、本PZT薄膜は、分極処理をしなくとも、PZTセラミックより大きな圧電定数 d_{31} (=150)が得られ、比誘電率 ϵ_r (=700)、高い電気機械結合係数 k_{31} を示し、変位特性も良好なリニアリティを有した。

本PZT薄膜化技術を利用して、小型の音叉型角速度センサやインクジェットプリンタヘッド用アクチュエータアレイを作製した。これらの圧電応用素子において、マイクロ化の1つの方向を示すことができた。

また、本PZT薄膜のHDD用2段アクチュエータへの試みもあり、サスペンションの共振モードを励起せず高い周波数まで追従可能、 $\pm 5V$ と低電圧駆動などの特長が示されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

なお、分極方向が揃う現象については、オージェ電子分光法の分析結果により、薄膜の厚み方向の組成が均一であったので、内部応力とひずみによるものと考えられる。しかし、MgO基板上の圧縮応力、Si基板上の引張り応力にかかわらず、PZT薄膜の分極方向が揃うので、今後、この機構を解明したい。同時に、本技術により、他用途のマイクロ圧電素子への展開を期待したい。

謝 辞

本研究開発は多くの方々の御指導と御援助により進化したものであり、京都大学工学部の神野伊策助教授、パナソニックエレクトロニックデバイス(株)・パナソニックコミュニケーションズ社の開発担当者の皆様に感謝の意を表します。

(平成19年4月26日受付、平成19年7月18日再受付)

文 献

- (1) T. Maeder, P. Muralt, L. Sagalowicz, I. Reaney, M. Kohli, and N. Setter : "Pb(ZrTi)O₃ thin films on zirconium membranes for micromechanical applications", Appl. Phys. Lett., Vol.68, pp.776-778 (1996)
- (2) S. Watanabe, T. Fujii, and T. Fujii : "Effect of poling on piezoelectric properties of lead zirconate titanate thin films formed by sputtering", Appl. Phys. Lett., Vol.66, pp.1481-1483 (1995)
- (3) C. Lee, T. Itoh, and T. Suga : "Micromachined piezoelectric force sensors based on PZT thin films", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Cont., Vol.43, pp.553-559 (1996)
- (4) K. Iijima, Y. Tomita, R. Takayama, and I. Ueda : "Preparation of c-axis oriented PbTiO₃ thin films and their crystallographic, dielectric, and pyroelectric properties", J. Appl. Phys., Vol.60, pp.361-367(1986)
- (5) K. Iijima, R. Takayama, Y. Tomita, and I. Ueda : "Epitaxial growth and the crystallographic, dielectric, and pyroelectric properties of lanthanum-modified lead titanate thin films", J. Appl. Phys., Vol.60, pp.2914-2919 (1986)
- (6) R. Takayama and Y. Tomita : "Preparation of epitaxial Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ thin films and their crystallographic, pyroelectric, and ferroelectric properties", J. Appl. Phys., Vol.65, pp.1666-1670 (1989)
- (7) 高山良一 : 「強誘電体薄膜を用いた焦電型赤外線センサー」, 応用物理, Vol.64, No.12, pp.1221-1224 (1995)
- (8) I. Kanno, S. Fujii, T. Kamada, and R. Takayama : "Piezoelectric properties of c-axis oriented Pb(Zr,Ti)O₃ thin films", Appl. Phys. Lett., Vol.70, No.11, pp.1378-1380 (1997)
- (9) I. Kanno, S. Fujii, T. Kamada, and R. Takayama : "Piezoelectric characteristics of c-axis oriented Pb(Zr,Ti)O₃ thin films", J. Korean Physical Society, Vol.32, pp.S1481-1484 (1998)
- (10) S. Fujii, I. Kanno, T. Kamada, and R. Takayama : "Preparation of c-axis oriented Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by RF-magnetron sputtering and their dielectric and piezoelectric properties", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.36, pp.6065-6058 (1997)
- (11) 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, pp.92-95 (1974)
- (12) K. Tomita, H. Horio, K. Chikanawa, O. Watanabe, Y. Toyofuku, K. Matsuo, and M. Ooyama : "Preparation of c-axis oriented Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by RF-magnetron sputtering and their dielectric and piezoelectric properties", Matsuhita. Technical Journal, Vol.51, pp.75-79 (2005)
- (13) H. Kuwajima and K. Matsuoka : "Thin-film piezoelectric DSA for HDD", IEEE Trans. Magn., Vol.38, pp.2186-2188 (2002)
- (14) H. Uchiyama, Y. Ogawa, H. Kita, and H. Kuwajima : "Thin film piezoelectric dual-stage actuator for HDD" Technical Report of IEICE, Vol.MR2002-82, pp.17-22 (2003) (in Japanese)

内山博一・小川裕子・喜多弘行・桑島秀樹 : 「薄膜PZTを用いたHDD用新型二段アクチュエータの開発」, 信学会技報, MR2002-82, pp.17-22 (2003)

高 山 良 一

(非会員) 1973年4月松下電器産業(株)入社、同年11月中央研究所、1976年材料研究所、1994年中央研究所薄膜グループ勤務。現在、先行デバイス開発センターに所属。微粒子化技術・薄膜化技術による機能性材料とその応用素子、特に、強誘電体材料の薄膜化とセンサ・アクチュエータ素子への応用に関する研究開発に従事。工学博士。

藤井 映志

(非会員) 1984年4月松下電器産業(株)入社、同年無線研究所、1994年中央研究所、2001年カラープリンティング開発センター、2003年先行デバイス開発センター、現在、先端技術研究所、ナノテクノロジー研究所勤務。ナノプロセス技術グループのグループマネージャー。機能性材料の薄膜化技術・ナノプロセス技術とその応用に関する研究開発に従事。工学博士。

友澤 淳

(非会員) 1990年4月松下電器産業(株)に入社。同年電子部品研究所、1991年部品デバイス研究センター、1994年中央研究所、2003年先行デバイス開発センター勤務。強誘電体・半導体・磁性体酸化物の薄膜化技術の研究開発に従事。現在、松下電器半導体社プロセス開発センターに勤務、イメージセンサのプロセス開発に従事。

鎌田 健

(非会員) 1986年4月松下電器産業(株)に入社。同年中央研究所、1995年生活環境研究所、2001年カラープリンティング開発センター勤務。半導体・超伝導・強誘電体の薄膜化技術に関する研究開発に従事。現在、先行デバイス開発センター勤務、機能性薄膜材料およびその応用デバイスに関する研究開発に従事。

藤井 寛

(非会員) 1989年4月松下電器産業(株)入社、同年部品デバイス研究開発センター、1994年中央研究所、1995年生活環境研究所、2001年カラープリンティング開発センター勤務。強誘電体薄膜を用いた赤外線センサ、圧電デバイスの研究開発に従事。現在、先行デバイス開発センター勤務、薄膜メモリ材料の研究開発に従事。

村田 晶子

(非会員) 1999年4月松下電器産業(株)入社。同年くらし環境開発センター、2001年カラープリンティング開発センター勤務、光触媒材料・PZT圧電材料等の酸化物薄膜化技術に従事。現在、先行デバイス開発センター勤務、ナノコンポジット材料に関する研究開発に従事。

鳥井 秀雄

(非会員) 1980年4月松下電器産業(株)入社。同年無線研究所、1991年部品デバイス開発センター、1993年中央研究所、2001年カラープリンティング開発センター、2003年先行デバイス開発センター勤務。酸化物磁性体・半導体・誘電体の薄膜化研究に従事。現在、映像デバイス開発センター勤務、薄膜・厚膜材料プロセスの研究開発に従事。理学博士。

平澤 拓

(正員) 2001年4月松下電器産業(株)入社。同年カラープリンティング開発センターに勤務。PZT薄膜を用いたインクジェットプリンタヘッド用アクチュエータの研究開発に従事。現在、先行デバイス開発センター勤務、マイクロアクチュエータの研究開発に従事。工学博士。

野村 幸治

(非会員) 1981年4月松下電器産業(株)入社、同年中央研究所、1991年松下電子部品(株)開発技術センター勤務。現在、パナソニックエレクトロニクスデバイス(株)開発技術センター勤務。センサ・アクチュエータ、RF・光機能素子の薄膜&MEMS関連デバイスの研究開発に従事。工学博士。