解 説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 86 [3], 93-97 (2013)

—小特集 成長し続けるインクジェット技術—

無鉛圧電セラミックスを用いたインクジェットヘッドの開発

田沼千秋^{*,†}

^{*}法政大学大学院理工学研究科 東京都小金井市梶野町3-7-2 (〒184-8584)

[†]Corresponding Author, E-mail: chiaki.tanuma.45@hosei.ac.jp

(2013年1月15日受付; 2013年2月21日受理)

要 旨

無鉛圧電セラミックスは、環境保全意識の高まりを受けて研究開発が活発に行われている。とくに、ニオブ酸アルカリ系無鉛圧電セラミックスは、これまで代替が難しいとされていたアクチュエータなどのハイパワー応用分野で、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) 系に迫る圧電特性を実現できる可能性があることが広く知られるようになり、材料開発、電子デバイスへの応用に関する研究報告が増えている。本稿では、無鉛圧電セラミックスの研究開発の現状を述べ、ニオブ酸アルカリ系無鉛圧電セラミックスを用いた電子デバイスの例として産業用インクジェットヘッドの開発状況について紹介する。

キーワード：無鉛圧電セラミックス、インクジェットヘッド、ニオブ酸アルカリ系、シェアモード

1. はじめに

2006年7月、欧州連合では有害物質の使用を禁止するRoHS指令が施行された。これは、人間にも環境にも優しい高品質な機能性材料の必要性が広く認められ、エレクトロニクス機器に含まれる有害物質 (鉛、カドミウム、水銀、六価クロムなど) を排除するための規制である。一方、エレクトロニクス機器で実用化されているセンサ、アクチュエータなどの圧電デバイスに用いる圧電材料は、単結晶、セラミックス、薄膜など多種多様の材料がある。なかでもチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) 系圧電セラミックスは、圧電デバイスの大半の用途に用いられ、主成分として多量の酸化鉛を含んでいる。現在、RoHS指令では実用的な代替材料がないため圧電セラミックスに含まれる鉛は規制の対象から除外されている。

しかし、斉藤らのグループは、代替が最も難しいとされていたアクチュエータにも使用可能なPZT系並み性能を実現するニオブタンタル酸塩 (K, Na, Li) (Nb, Ta, Sb) O₃系の無鉛圧電セラミックスの開発に成功した¹⁾。これを機に高性能無鉛圧電セラミックスの研究開発が活発になっている。

圧電特性の向上のため、PZT系圧電セラミックスにおける圧電特性発現の研究をはじめとし、圧電セラミックスを焼結する際の原料粉体の微細化や焼結プロセスにおける温度制御方法の改良、添加物の探索などにより、さらに高い圧電特性が得られ

ることが明らかになった²⁻⁵⁾。藤井らの研究グループは、BaTiO₃にBi化合物を添加し、PZTの2倍の圧電特性を得ることに成功した⁶⁾。また、秋山らの研究グループは、BaTiO₃にSnを添加した材料系 (BSnT材料) で、PZT並みの圧電特性を発現する材料を開発した⁷⁾。この材料は、薄膜を形成することが可能であるが良質の膜を形成する際に高温で焼結する必要がある。基板の上に設ける電極層の耐熱性を上げることで、シリコン基板上でも実用レベルのBSnTの成膜を可能とした。

一方、無鉛圧電セラミックスを電子デバイスに応用する試みとして、土信田らの研究グループは、KNbO₃系無鉛圧電セラミックスを用い、ほかの方式と比較して変換効率の高いシェアモードを用いた超音波モーターの試作に成功し、低電圧駆動を達成した⁸⁾。また、鈴木らの研究グループは、KNbO₃系材料にBiFeO₃を添加して圧電特性を高めた材料を開発し、シェアモードインクジェットヘッドを試作してインク液滴の吐出に成功した⁹⁾。筆者らのグループは、原料合成法の改良と焼結方法を改良したKNbO₃系無鉛圧電セラミックスを採用して従来の2倍のノズル密度のシェアモード型インクジェットヘッドを試作し、インク液滴の吐出制御に成功した^{10,11)}。

本稿では、代表的な無鉛圧電セラミックスであるBaTiO₃系、Bi系、Nb系圧電材料を取り上げ研究開発の現状を述べる。また、無鉛圧電セラミックスを応用した超音波モーター、インクジェットヘッドについて簡単に述べ、筆者らが開発したシェアモード型インクジェットヘッドの詳細について解説する。

2. 無鉛圧電セラミックスの現状

圧電性の発見は、1880年にPierreとJacquesのCurie兄弟が、水晶、トパーズ、ロッシェル塩、トルマリン等の結晶が応力により電気分極を生ずることを明らかにしたこと始まる。逆圧電性は、1881年にLipmanにより熱力学の法則から数学的に導かれ、Curie兄弟により実験的に確認された。最初の圧電効果

〔氏名〕 ためま ちあき
〔現職〕 法政大学大学院理工学研究科 客員教授
〔趣味〕 音楽鑑賞、写真
〔経歴〕 1978年東京芝浦電気(株)総合研究所入社、2002年東芝テック(株)へ転籍、2012年東芝テック(株)を退職。2012年法政大学大学院客員教授。圧電アクチュエータ、圧電型インクジェットヘッドの研究開発に従事。

の利用は、1917年にLangevanらが開発した超音波を用いた潜水艦の探知機（ソナー）への応用であった。水晶振動子を鉄板で挟んだ構造のトランスデューサにより構成され、超音波の反射時間により対象物までの距離を計測するというものであった。この成功により圧電デバイスが注目されるようになった。

現在、圧電セラミックスは、加速度、ジャイロなどのセンサ、超音波モーター等のアクチュエータ、超音波プローブ等のトランスデューサなど広範囲に応用されている重要な電気-機械変換素子材料である。多くの応用で用いられる圧電セラミックスは、PZT系材料で、主成分として多量（60%以上）の鉛酸化物を含んでいる。廃棄の際に鉛酸化物の流出による環境汚染が懸念されていることから、生態学的な見地および公害防止の面から世界的に環境保全策が進められている。このような背景から従来の鉛系材料に代替できる実用的な無鉛圧電セラミックスの開発が強く求められている。

無鉛圧電セラミックスの候補となる材料は、 BaTiO_3 と $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ や $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3$ などのBi系材料、さらに、 KNbO_3 や $(\text{Na K})\text{NbO}_3$ などNb系材料がある。 BaTiO_3 は1946年、 $(\text{Na K})\text{NbO}_3$ は1959年、 $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ は1961年、 $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3$ は1962年にそれぞれ強誘電体であることが発見されたが、長い間実用的な圧電材料が得られなかった。

近年、 BaTiO_3 は、ナノ粒子を用いてマイクロ波焼結や2段焼結を行うなど製造プロセスを改善することで、優れた圧電特性を示すことが明らかになり、Bi系は、 $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ - BaTiO_3 の固溶体で、また、Nb系は、 LiNbO_3 と固溶体化し、Ta, Sb, を添加することにより高い圧電特性を示す材料が開発された。加えて、粒子配向法を用いると、さらに高い圧電特性が得られることが明らかになった。以下にそれぞれの無鉛圧電セラミックスについて述べる。

2.1 BaTiO_3 材料

BaTiO_3 セラミックスは、1942年にWainerとSlomonによって誘電的異常として発見され¹²⁾、その後、A. von Hippelらと小川によって BaTiO_3 の強誘電性が確認された¹³⁻¹⁷⁾。圧電的性質は、Masonらによって研究が行われ多くの基礎特性が報告された¹⁸⁾。

BaTiO_3 セラミックスは、魚群探知機としての応用からキャパシタ、サーミスタ、フィルタ等多くのエレクトロニクス分野で実用化され、有用な工業材料として飛躍的な発展を遂げている。 BaTiO_3 は、ナノサイズの BaTiO_3 の原料粉末の合成技術の確立により、圧電特性が飛躍的に向上している。すなわち、 BaTiO_3 セラミックスのグレインサイズとドメインサイズを適切に制御することで、大きな圧電特性を示すことが報告されている¹⁹⁻²⁴⁾。また、セラミックスの焼結にマイクロ波焼結を導入することで、内部加熱、均一加熱、急速加熱が可能となり、小さなグレインサイズのセラミックスを得ることができる²⁵⁾。

高性能化のメカニズムとしてエンジニアード・ドメイン²⁶⁾の導入は大きな影響を及ぼし、粒子サイズ、ドメインサイズが寄与することが明らかになった。強誘電体のドメインサイズ、ドメインの形状、ドメイン壁の動き、粒界を挟んだドメインの連続性が巨大圧電特性の発現に寄与していると考えられている。 BaTiO_3 の高性能化は、Bi系材料、Nb系材料との複合が可能であるため、さらなる発展が期待されている。

2.2 Bi系材料

圧電セラミックスの応用例は、アクチュエータや超音波デバイスなどのようなハイパワー応用とレゾネーター、センサなどの電子回路素子への応用に分類される。ハイパワー応用では、ペロブスカイト型強誘電体が有利である。 $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3$ 、 $(\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2})\text{TiO}_3$ 系セラミックスは、比較的大きな電気機械結合係数や圧電定数を示すことから、ボルト締めランジュバン型圧電振動子の開発が行われている²⁷⁾。一方、後者において、ビスマス層状構造強誘電体セラミックス(BLSF)は、電気機械結合係数は小さいが大きな Q_m や小さな比誘電率、良好な温度安定性などの特徴から、鉛系圧電材料を凌駕する特性が期待されている。BLSFの高性能化には、粒子を配向させてセラミックス焼結する技術が不可欠であるが、谷らは、常圧焼成にて高密度でかつ高配向の粒子配向セラミックスが作製できる技術を開発した^{28,29)}。

高性能化のためには、粒子配向のためのテンプレート法、シード法などの技術改良が有効であると考えられている。また、厚膜、薄膜化も重要な技術である。

2.3 Nb系材料

Nb元素は、高張力鋼などの高級鋼の添加成分として利用されている。 Nb_2O_5 は、高屈折率であるため、レンズに用いられるほか、 Ta_2O_5 キャパシタの代替材料として注目されている。単結晶、セラミックス、薄膜（厚膜）が可能であり、 LiNbO_3 単結晶は、表面弾性波(SAW)デバイスに応用されている。 NaNbO_3 、 KNbO_3 単結晶は、さまざまな特性が調べられているが、結晶が安定して作製できない問題があり、電子材料として普及していない。圧電セラミックスへの応用は、ニオブ酸アルカリ材料でPZTを凌駕する圧電特性を示すことが報告され、無鉛化が最も困難とされていた圧電アクチュエータへの応用が可能と期待されている。しかし、PZT系材料と比較して研究例が少なく、理解されていない部分が多々あるとされている。Guoらの研究グループは、 $(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})\text{NbO}_3$ セラミックスにLiを置換し固溶させた $(\text{Li, Na, K})\text{NbO}_3$ 材料の組成比を最適化することで大きな圧電特性が得られることを発見した³⁰⁾。さらに、斎藤らは、 $(\text{Li, Na, K})(\text{Nb, Ta, Sb})\text{O}_3$ セラミックスでPZTに迫る圧電特性を示した¹⁾。また、製造方法では、水熱合成法による KNbO_3 や NaNbO_3 のナノ粒子の合成が報告され³¹⁾、さらなる圧電特性の向上が期待されている。

3. 無鉛圧電セラミックスを用いた圧電デバイス

無鉛圧電セラミックスは、PZT系圧電セラミックスと比較して圧電特性が劣るため、電子デバイスへの応用に際しては、工夫が必要である。圧電セラミックスを用いたアクチュエータには、変形するモードにより圧電縦効果、圧電横効果、圧電厚みすべり効果(シェアモード)がある³²⁾。それぞれのモードは、電気-機械変換効率が異なるため、アクチュエータの用途に応じてモードを選択している。なかでもすべり効果は、ほかのモードと比較して効率が良いことから、構造を工夫することで、超音波モーターやインクジェットヘッドに用いられている。

ここでは、無鉛圧電セラミックスの応用例として、シェアモードを利用した超音波モーターと、インクジェットヘッドを取

図-1 シェアモード型インクジェットヘッドの圧力室の断面図

表-1 $\text{Li}_{0.06}(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})_{0.94}\text{NbO}_3$ 無鉛圧電セラミックスの特性

Specifications	
Property	Typical value
K_{15} (%)	45
d_{15} (pm/V)	28
Density (g/cm^3)	4.5
Grain size (μm)	3–4
Pore (μm)	≤ 10
K_{15} : 電気機械結合定数, d_{15} : 圧電定数	

り上げ解説する。

土信田らの研究グループは、無鉛圧電セラミックスの $(\text{Sr}, \text{Ca})_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ を用いて、積層素子を4個平面上に配置し、その上に梁となる金属ロッドを立てた構成で、対角の素子同士が逆位相、隣接の素子同士の位相差を 90° とすることで、片持ち梁の屈曲2重モードを発生させる構造の超音波モーターを試作した。駆動電圧は同様の構造のPZTを用いた超音波モーターと比較して高くなるものの、ほぼ同等の動作特性を実現できることを確認した⁸⁾。

また、鈴木らの研究グループは、Nb系材料に BiFeO_3 を添加して圧電特性を高めた無鉛圧電セラミックスを用いてシェアモード型インクジェットヘッドを試作し、インク液滴の吐出に成功した。PZTと比較して2倍程度の駆動電圧を必要とするが、インク液滴の吐出が正常に行われることを確認した⁹⁾。

筆者らは、 $(\text{Li}, \text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$ 無鉛圧電セラミックスを用いてシェアモード型インクジェットヘッドを試作し、インク液滴の吐出を確認した¹⁰⁾。

図-1に、シェアモード型圧電アクチュエータを用いたインクジェットヘッドの動作原理を示す。シェアモード型インクジェットヘッドは、分極方向が相反する2枚の圧電セラミックス板を貼り合わせ、圧力室となる微細溝を形成し、溝内面に駆動電極を設け駆動電圧を印加することにより圧力室の側壁を变形させ、圧力室内のインクを加圧することでノズルからインク液滴を吐出する。

表-1にインクジェットヘッドの試作に用いた無鉛圧電セラミックスの特性を示す。また、図-2に $(\text{Li}, \text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$ 圧電セラミックスの表面をSEMにより観察した写真を示す。シェアモード型インクジェットヘッドに使用する圧電セラミックス材料は、気孔（ポア）が存在すると電極の短絡、インク圧力室が形成できないなどの問題が発生する。今回の試作で使用した無鉛圧電セラミックス材料は、ポアが $10 \mu\text{m}$ 以下かまったく存在しない緻密な材料を用いた。

図-2 $\text{Li}_{0.06}(\text{Na}_{0.5}\text{K}_{0.5})_{0.94}\text{NbO}_3$ 無鉛圧電セラミックスの表面観察SEM写真

図-3 無鉛圧電セラミックスを用いたシェアモード型インクジェットヘッドの設計イメージ図。(a) シェアモード型インクジェットヘッドの斜視図、(b) インク室アクチュエータの断面図。

図-3に、インクジェットヘッドの設計イメージを示す。インクジェットヘッドは、直径が20 mmの無鉛圧電セラミックス板の中央にアクチュエータ数が60、ノズル数が60となるようにアクチュエータを配置した。ただし、有効なノズル数は19とした。ノズル密度は150 dpiあるいは300 dpiとした。

試作したシェアモード型インクジェットヘッドは、アクチュエータの最適形状、ノズルの最適形状、駆動波形の最適化などをインク液滴吐出の目標仕様に合わせて設計した。無鉛圧電セラミックスを用いるインクジェットヘッドでは、PZT圧電セラミックスを用いるインクジェットヘッドとはほぼ同じ形状寸法を採用した。これは、インク液滴の吐出に最も重要なインク圧力室の寸法は、インクの物性値に大きく依存するが、液滴飛翔観察に使用するインクの物性値に変更がないことから、ほぼ同じ設計で問題ないと判断したからである。

図-4に試作したシェアモード型インクジェットヘッドの目標仕様、外観写真、インク液滴の飛翔の様子と印字サンプルを示す。

最小インク液滴は6 plあるいは3 plとなるように駆動波形を調整して行った。多値記録は、同じ大きさのインク液滴を連続して吐出してドットの大きさを制御するマルチドロップ方式を採用した³³⁾。150 dpiヘッドではインク液滴が1~7ドロップとなるように駆動信号を与えインクジェット専用紙の上にドットを形成した。また、300 dpiヘッドではインク液滴が1~4ドロップとなるように駆動信号を与えインクジェット専用紙の上にドットを形成した。インクジェット専用紙の上に形成されたド

図-4 無鉛圧電セラミックスを用いたシアモード型インクジェットヘッドの試作結果。(a) ノズルピッチ150 dpiヘッドの仕様, インク液滴飛翔観察写真, インクジェットヘッド外観写真, 印字結果, (b) ノズルピッチ300 dpiヘッドの仕様, インク液滴飛翔観察写真, インクジェットヘッド外観写真, 印字結果

ットは, インク液滴の数に比例してサイズが大きくなっており, マルチドロップの制御が正確に行われていることを示した。

この結果は, PZT圧電セラミックスを用いたシアモードインクジェットヘッドと同等のインク液滴の吐出性能を示しており, 無鉛圧電セラミックスを用いたシアモード型インクジェットヘッドでインク液滴の制御が確実にできることを示した。ちなみに150 dpiヘッドの最小インク液滴は6 plでインク液滴の吐出速度は, 9 m/s, 最大駆動周波数は, 4.8 kHzであった。また, 300 dpiヘッドの最小インク液滴は3 plでインク液滴の吐出速度は, 6 m/s, 最大駆動周波数は, 2.5 kHzであった。

無鉛圧電セラミックスを用いたシアモード型インクジェットヘッドでインク液滴の吐出に成功した。インク液滴の吐出性能は, PZT圧電セラミックスを用いたインクジェットヘッドとほぼ同等であった。駆動電圧は, 2倍程度高いが, 圧電セラミックス材料の特性改良により, 低電圧化が可能と考えている。無鉛圧電材料はキュリー温度が高いためプロセス適合性に優れる, 緻密な材料であるため微細加工が可能である等の特徴があり, 圧電特性の向上により産業用インクジェットヘッド材料として実用化が期待される。

4. おわりに

無鉛圧電セラミックスの研究開発の現状とその応用デバイスであるインクジェットヘッドについて研究開発の現状について解説した。無鉛圧電セラミックスは, PZT系セラミックスの高い圧電性能の発現のメカニズム解明や新たな製造プロセスの導

入などによりPZTに迫る特性を示す材料が開発されつつある。一方, これらの材料を応用する電子デバイスでは, 無鉛圧電セラミックスの特徴を活かした構造や設計により実用化を目指した研究開発が行われている。これらの材料の最も重要な課題は, 圧電特性の向上であるが, 温度特性, ハイパワー特性などの最適化により, 実用的な材料が開発されると期待される。

文 献

- 1) Y. Saito, H. Takao, T. Tani, T. Nonoyama, K. Takatori, T. Homma, T. Nagaya, M. Nakamura: *Nature*, **432**, 84 (2004).
- 2) S. Wada, K. Takeda, T. Muraishi, H. Kakemoto, T. Tsurumi, T. Kimura: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **46**, 7039 (2007).
- 3) 野口祐二: 日本AEM学会誌, **15** (4), 386 (2007).
- 4) H. Nagata: *Ceramics Transaction*, **167** (2), 213 (2005).
- 5) K. Kakimoto, T. Imura, Y. Fukui, M. Kuno, K. Yamagiwa, T. Mitsuoka, K. Ohbayashi: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **46**, 7089 (2007).
- 6) 藤井一郎, 三井龍太, 中島光一, 熊田伸弘, 和田智志, 渡邊隆之, 藪田久人, 島田幹夫, 林 潤平, 久保田 純, 福井哲朗: セラミックス協会年会, 3A05S, 240 (2012).
- 7) 秋山善一, 陳 顕鋒, 太田英一: 第29回強誘電体応用会議予稿集, 15 (2012).
- 8) Y. Doshida, S. Kishimoto, T. Irieda, H. Tamura, Y. Tomikawa, S. Hirose: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47**, 4242 (2008).
- 9) 鈴木 良, 浦本信吾, 掛本博文, 鶴見敬章: セラミックス協会年会, 3A21, 244 (2008).
- 10) 下里正志, 田沼千秋: 東芝レビュー, **67** (9), 45 (2012).
- 11) C. Tanuma, M. Shimosato, N. Nitta, K. Yamamoto, H. Takahashi: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **51**, 09LD13 (2012).
- 12) E. Wainer, N. Salomon: National Lead Co. Reports, 8-10 (1938-1943).

- 13) A. von Hippel, R. G. Breckenridge, F. G. Chesley, L. Tisza: *NDRC Reports*, 14 (1944).
- 14) A. von Hippel, R. G. Breckenridge, F. G. Chesley, L. Tisza: *Ind. Eng. Chem.*, 14 (1944).
- 15) S. Miyake, R. Ueda: *J. Phys. Soc. Jpn.*, **1** (1), 32 (1946).
- 16) 小川建夫, 和久 茂: 特許175153 (1946).
- 17) 小川建夫: 物性論研究, **6**, 1 (1947).
- 18) W. P. Mason: *Piezoelectric Crystals and Their Applications to Ultrasonics* (1950).
- 19) W. Cao, C. A. Randall: *J. Phys. Cem. Solids*, **10**, 1499 (1996).
- 20) C. A. Randall, N. Kim, J. P. Kucera, W. Cao, T. R. Shrout: *J. Am. Ceram. Soc.*, **81**, 677 (1998).
- 21) G. Arlt: *Ferroelectrics*, **104**, 217 (1990).
- 22) G. Arlt, D. Hennings, G. De With: *J. Appl. Phys.*, **58**, 1619 (1985).
- 23) S. Wada: *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1*, **38**, 5505 (1999).
- 24) S. Wada, T. Tsurumi: *Br. Ceram. Trans.*, **103**, 93 (2004).
- 25) H. Takahashi, K. Kato, J. Qiu, J. Tani: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, 724 (2001).
- 26) 日本 AEM 学会編: “無鉛圧電セラミックス・デバイス”, 80 (2008).
- 27) T. Tou, Y. Hamaguti, Y. Maida, H. Yamamori, K. Takahashi, Y. Terashima: *Proc. of Symp. on Ultrasonic Electronics*, **29**, 363 (2008).
- 28) T. Tani: *J. Korean Phys. Soc.*, **32**, S1217 (1998).
- 29) 竹内嗣人, 谷 俊彦, 斎藤康善: 第16回強誘電体応用会議予稿集, 35 (1999).
- 30) Y. Guo, K. Kakimoto, H. Ohsato: *Appl. Phys. Lett.*, **85**, 4124 (2004).
- 31) K. Kanie, H. Mizutani, A. Terabe, Y. Numamoto, S. Tsukamoto, H. Takahashi, M. Nakaya, J. Tani, A. Muramatsu: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 09ND09 (2011).
- 32) 内野研二: 圧電/電歪アクチュエータ, 78 (1986).
- 33) R. Kusunoki, T. Miyazawa, T. Ito: *The Soc. of Imaging Sci. and Tech.*, 290 (2003).

Development of an Inkjet Head using Lead-Free Piezoelectric Ceramics

Chiaki TANUMA^{*,†}

^{*}*Hosei University, 3-7-2 Kajino-cho, Koganei, Tokyo 184-8584, Japan*

[†] *Corresponding Author, E-mail: chiaki.tanuma.45@hosei.ac.jp*

(Received January 15, 2013; Accepted February 21, 2013)

Abstract

An environmentally friendly lead-free ceramic material, whose electric properties are compatible to those of a conventional lead-based piezoelectric material, has been sought by many researchers. Out of many candidates, an alkaline niobate-based piezoelectric ceramics has the potential to replace lead zirconate titanate (PZT) for high power applications such as actuator.

In this paper, we describe the current status of research and development of lead-free piezoelectric ceramic materials and show the development of an inkjet head as an example of an electronic device using the alkaline niobate-based lead-free piezoelectric ceramics.

Key-words: *Lead-free, Piezoelectric ceramics, Inkjet head, Alkaline niobate, Shear mode*