

LiNbO₃を用いた超音波モータ構成に関する研究

その他（別言語等） のタイトル	Study on a Ultrasonic Motor Construction Using a LiNbO ₃ Plate
著者	田村 英樹, 川合 孝二郎, 高野 剛浩, 富川 義 朗, 青柳 学, 広瀬 精二
雑誌名	日本音響学会研究発表会講演論文集
巻	2006年春季
ページ	1055-1056
発行年	2006-03
URL	http://hdl.handle.net/10258/1658

LiNbO₃を用いた超音波モータ構成に関する研究

その他（別言語等） のタイトル	Study on a Ultrasonic Motor Construction Using a LiNbO ₃ Plate
著者	田村 英樹, 川合 孝二郎, 高野 剛浩, 富川 義朗, 青柳 学, 広瀬 精二
雑誌名	日本音響学会研究発表会講演論文集
巻	2006年春季
ページ	1055-1056
発行年	2006-03
URL	http://hdl.handle.net/10258/1658

LiNbO₃を用いた超音波モータ構成に関する研究*

田村 英樹, 川合 孝二郎, 高野 剛浩[†], 富川 義朗, 青柳 学[‡], 広瀬 精二

(山形大・工, [†]東北工大, [‡]室蘭工大)

1. まえがき

超音波モータは直接駆動による高トルク・低回転速度が特長とされてきた。その一方で近年の携帯情報機器等の小型化に伴うモータ小型化要求に対して、形状自由度や体積あたりの出力の大きさを生かした軽負荷・高速回転型の超音波モータも研究されており¹⁾、本研究の狙いもそこにある。

共振での利用を前提とすれば、振動子を小型化する際に必然的に駆動周波数が高くなり、また高速回転を得るため振動子の変位速度が大きいたが条件となる。ここで誘電損失や機械的損失が小さく、大きな振動変位速度条件下でも高いQを維持し続け、また発熱が少なく安定した材料としてLiNbO₃が挙げられる。²⁾ また大きな電気機械結合係数を得られ位置制御用等のアクチュエータとしての研究も既に行われている。^{3), 4)} 共振・摩擦駆動型の回転モーターについても筆者らは動作を確認し大きな期待を持っている。⁵⁾

本報告は、LiNbO₃を用いた回転モーターをさらに容易に利用するための単相駆動化、及び材料の特長であるQ値の高さを極力損なわないための斜対称形状および支持方法に関する検討、ならびに試作実験の結果を述べる。

2. 結晶方位及び振動子形状

圧電セラミクス単板による単相駆動可能な超音波モータとして、Fig. 1に示す斜対称形板の結合モードを利用する構成が報告されている。⁶⁾

LiNbO₃への適用に際し、始めに適切な結晶カット角の確認としてFEM解析(ANSYS Rev.8.1)を用いて得た矩形板振動子の縦一次モードの電気機械結合係数のカット角依存性をFig. 2に示す。これは k_{23} の計算結果とほぼ一致し¹⁾ 137度付近で最大となる。但し、代表的なカット角である128度や140度においてもそれほど悪い値ではなく、従って今回は入手性の点から128度回転Y板を採用している。

表裏 y' 面に全面電極を施し、FEM解析にて例えばFig.3のような二つの結合モードを確認出来る。周波数の高低によってそれぞれupper-mode、lower-modeと称する。具体的な形状は、始めに厚み0.5mmと長辺20mmを定め、その他をパラメータとして検討した。ここで、振動子幅 w を変えるとFig.4のように共振周波数 f_0 や電気機械結合係数 k が変化する。Upperおよびlower-modeを切り替えることで逆回転動作が得られる

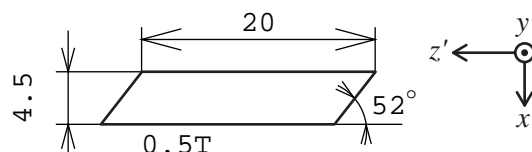


Fig. 1 Diagonally symmetrical plate vibrator.

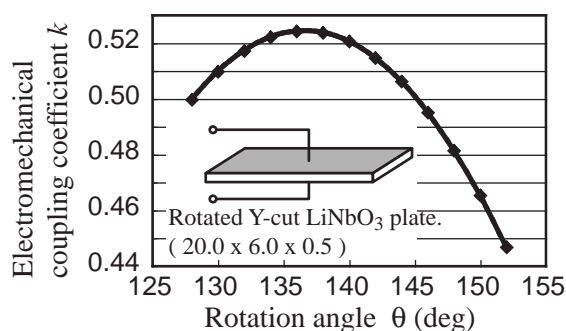


Fig. 2 Analyzed result of Electromechanical coupling coefficient as function of the cutting angle in the 1st longitudinal mode by FEM.

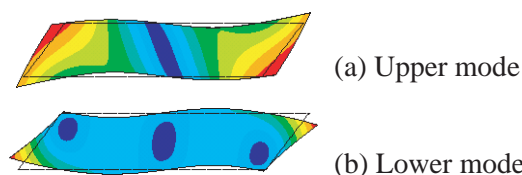


Fig. 3 Modal analysis result of the coupling modes in diagonally symmetrical plate.

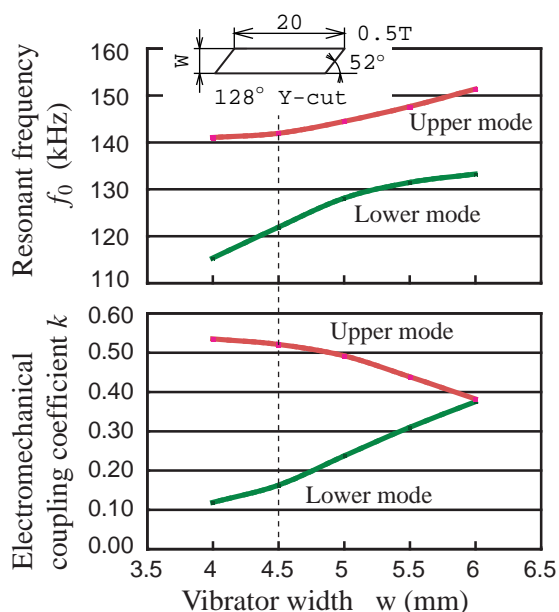


Fig. 4 Analysis result of vibrator characteristics as function of the vibrator width.

* Study on a Ultrasonic Motor Construction Using a LiNbO₃ Plate ,

by Tamura Hideki, Kawai Koujiro, Takano Takehiro[†], Tomikawa Yoshiro, Aoyagi Manabu[‡] and Hirose Seiji (Yamagata Univ., [†]Tohoku Inst. of Tech. and [‡]Muroran Inst. of Tech.)

Table I Resonant characteristics of the upper-mode.

Support condition	Q	f_0 (kHz)
Free (using contact-pin)	37370	141.96
With Cu plates	10720	142.64
Fixed on base-jig	4323	142.62
Preloaded (rotatable)	1425	142.55

ことが知られており、その場合には双方のモード特性に近い方が好ましいが、今回は一方回転に特化して k の高い upper-mode のみを重視した。Upper-mode の振動により Fig.5 に示す変位作用でロータは特定方向へ回転する。最適形状は今後の検討が必要であるが、変位量等を考慮して Fig. 1 に示す寸法にて試作を行った。

この振動子を用いてモータを構成する際、支持には当然中央ノード部を用いるが、これまでは別途リード線の引き出しを行っていた。これはノード以外へ負荷の接続となり大きな Q 低下要因であった。また中央ノードを弱い点支持とすると加圧や動作時にロータとの接触部に逃げが生じるといった問題もあった。そこで Fig.6 のように支持と給電を兼ねた厚さ 0.1mm のリン青銅板を導電性接着剤 (Dotite FA-705) で取付け 1mm 開放部の先で挟み込み固定した。これにより不必要な負荷を無くし high- Q の維持や、また銅板開放部が板バネとなり逃げに対する復元力として働くため加圧の安定化も期待される。

3. 実験結果

切り出された振動子の中央ノード部を上下よりコンタクトピンで接触支持して振動特性を測定すると、upper, lower-mode それぞれの k は 0.36 と 0.17、また Q は 37370 と 7846 であったが、支持構造の組付けによって Table I に示すように低下した。これは主にリン青銅板の取付け位置精度問題であり改善可能である。少なくとも回転可能な程度のロータへの加圧を行った後でも 1425 の Q 値が得られており、その状態での回転特性および、同時に測定した z' 方向への端面変位速度を Fig.7 に示す。 V_D が 1.3 未満では駆動能力不足であり十分な特性が得られていない。 V_D が 1.7 以上ではシャフト及びディスクの取付け精度が悪く高速回転で軸ブレが生じて不安定であった為機構改善後に再計測を行う。中間領域では速度変動が見られるが再現性のある動作が得られ、また固定周波数での駆動でも特に周波数シフトなどは問題にならず LN の安定性が感じられた。以上は非常に弱い加圧にて行ったが、僅かに加圧を強めたくうえ 2.5 V, 30 mW 印加時に約 4200rpm が得られた。しかしながら大きな加圧力によって振動子端面に摩擦痕が生じており耐摩耗対策が必要である。また幾つかの試作で特に Q 値のばらつきが大きく、このとき低い Q 値のものでも回転が得られたが消費電力が大きい傾向が見られた。

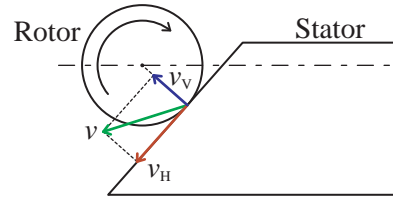


Fig. 5 Principle of rotor revolution at the upper mode.

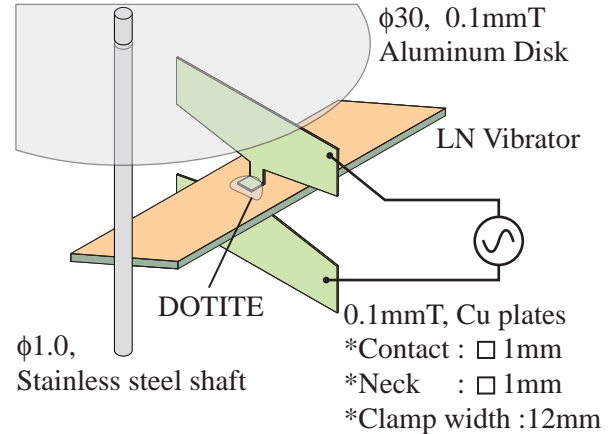


Fig. 6 Support structure combined with power supply using Cu-plates.

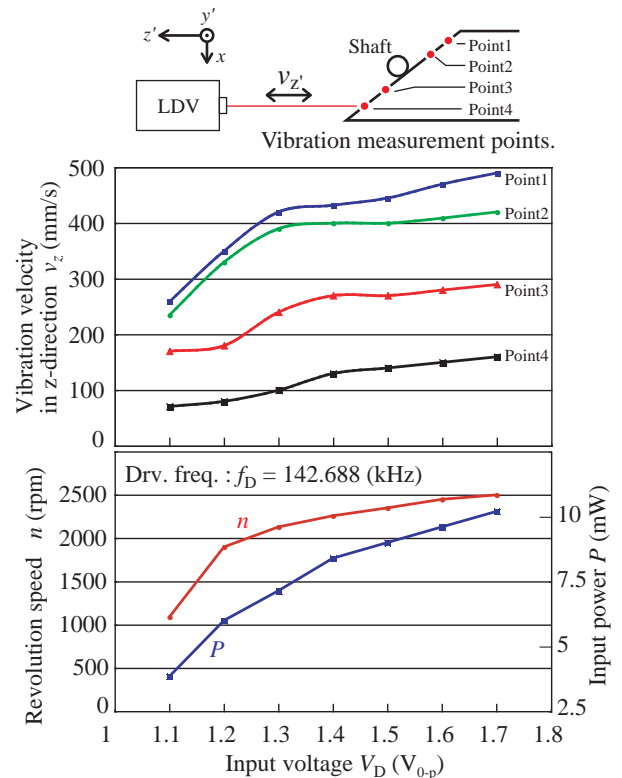


Fig. 7 Measured motor characteristics.

参考文献

- 1) M. Aoyagi *et al.*, J. J. A. P. Vol. 43, No. 5B, pp. 2873-2878, 2004
- 2) 中村 信良, 超音波 TECHNO, pp.10-14, '98-7
- 3) 中村 信良, 超音波 TECHNO, pp.42-45, '91-3
- 4) K. Nakamura *et al.*, J. J. A. P. Vol. 323, No. 5B, pp. 2415-2417, 1993
- 5) T. Takano *et al.*, 1st International Workshop on Ultrasonic Motors and Actuators, pp. 75-76, 2005
- 6) 青柳 学 他, 信学論 C-I Vol.11, pp.560-566, 1995