

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03943

研究課題名(和文) サファイアガラスを伝搬路とする弾性表面波モータ

研究課題名(英文) Surface acoustic wave motor with sapphire wave guide

研究代表者

黒澤 実 (Kurosawa, Minoru)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：70170090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：固体表面付近に振動エネルギーが集中して伝わっていく弾性表面波(レイリー波)を用いた超音波モータの研究を行っている。弾性表面波基板には、ニオブ酸リチウム(128°回転Y板)をステータとして用いている。しかし、摩擦力で駆動をおこなう弾性表面波モータにおいては、ニオブ酸リチウムの耐摩耗性が問題となり、実用化する上での障害となっている。そこで、振動の励振にはニオブ酸リチウム素子をもちい、励振された振動をサファイア基板に接触伝搬させることで、耐摩耗性の高いサファイアを摩擦駆動面として用いる新しい振動子の構成について実験的に研究を行い、サファイア基板面にレイリー波を励振できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サファイアと同じ組成であるアルミナ・セラミクスを摩擦材として実用化された超音波モータでは、動作距離10,000km(推定10,000時間)の寿命を実現している。アルミナ・セラミクスの単結晶材料であるサファイアを摩擦駆動部に用いることで高い耐久性が期待できる。振動発生部には、単結晶ニオブ酸リチウムを用いることで高いパワー密度を実現し、摩擦駆動部には、耐摩耗性と機械強度に優れた単結晶サファイアを用いることで高い耐久性を目指しているのが、本弾性表面波モータである。

研究成果の概要(英文)：The surface acoustic wave (SAW) motor, as a type of traveling wave ultrasonic motor, has been studied for years. A Rayleigh wave is excited by a unidirectional interdigital transducer (U-IDT) in a lithium niobate stator. Through frictional force, a driven slider can achieve linear motion. At the contact surfaces of the stator and slider, one problem observed is the lack of tolerance to wear. Owing to the large mohs hardness, a novel approach to the fabrication of a sapphire stator is investigated to improve frictional durability. In the novel sapphire stator, the Rayleigh wave, generated by the lithium niobate U-IDT transducer, is transmitted to the sapphire stator surface through pure mechanical integration. Through measurement results, the sapphire stator is evaluated via the admittance characteristics of the wave excitation unit, the normal vibration of the Rayleigh wave, and the horizontal vibration velocity of the Rayleigh wave.

研究分野：超音波工学

キーワード：アクチュエータ 圧電アクチュエータ 超音波モータ リニアモータ マイクロモータ 弾性表面波素子 摩擦駆動 MEMS

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 超音波モータを飛躍的に高性能化するためには、振動素子のパワー密度を向上するため機械振動の高周波化と、低損失で高振幅を実現できる単結晶圧電材料の利用が重要であると考え、我々は、弾性表面波モータを考案し、その動作を実証した。弾性表面波モータは、駆動周波数 10MHz のレイリー波をニオブ酸リチウム (LN:LiNbO₃) 基板上に励振し、超音波モータの動作を実現している。駆動周波数が 10MHz と、既存の超音波モータより 3 桁近く高く、動作パワー密度を向上させている。また、単結晶材料である LN を用いることで、機械振動へ変換する電力を 10~100 倍高くし、高出力化が図られている。

(2) これまでに 90x13x1 mm³ の LN 基板をステータとし、無負荷速度 1 m/s、最大推力 20 N の小型リニアモータを実現している。ステータの質量は 6g と非常に軽量で、効率は最大で 15% を得ている。しかし、摩擦駆動面の耐久性を向上するための検討が必要であり、ステータ面に Al₂O₃ 膜を成膜したが、膜密着強度と母材強度の問題から剥離してしまい、根本的な解決方法が必要となっている。優れた動作特性であることから、実用化への期待も高く、耐久性の優れたモータとなることが強く求められていた。

2. 研究の目的

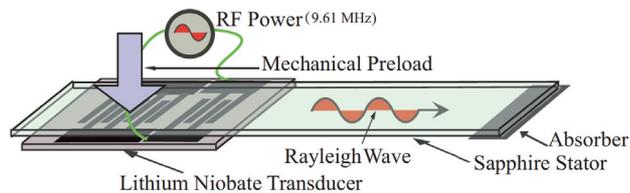
(1) 耐摩耗性材料として優れた特性を持つサファイアガラスを、摩擦駆動部となる弾性表面波導波路に用い、弾性表面波モータ用の振動系を実現することを目的として、サファイアガラス基板上への大振幅レイリー波駆動について検討を行う。

(2) 導波路としてのサファイアは、機械振動に対してメカニカルな Q 値が 10⁶ 以上と高く、極めて優秀な導波路材料である。しかし圧電性はほとんど無いため、サファイアに 10 MHz で強力なレイリー波を励振するには、バルク材のニオブ酸リチウムを用いる。バルク材のニオブ酸リチウムをサファイアガラスに機械的に接合してレイリー波を送波する振動系について実験的な検討を行う。

3. 研究の方法

(1) ニオブ酸リチウム基板上に駆動用 IDT 電極を作製し、電極面をサファイアガラス基板に予圧を掛けて接触させることで、レイリー波励振を行う構造の実験装置を試作し、波動の励振状況を実験的に検討する。

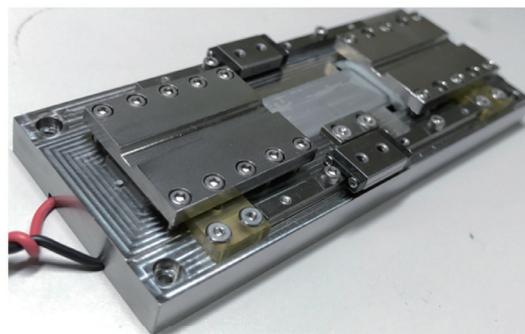
(2) ニオブ酸リチウム基板上の駆動 IDT 電極で励振したレイリー波を、ニオブ酸リチウムの導波路面上にサファイアガラス基板を予圧し接触させることで、サファイア基板上にレイリー波励振を行う構造の実験装置を試作し、波動の励振状況を実験的に検討する。



(a) Type I, mechanical preload part is on the surface of the U-IDT transducer.

4. 研究成果

(1) 駆動用 IDT 電極と反射器 IDT を組み合わせた一方方向性 IDT 電極の設計条件を最適化し、効率よく高周波電力を機械振動であるレイリー波に変換する際の損失解析を行い、駆動効率の向上を図った。ニオブ酸リチウム基板としては、128° 回転 Y 板を用い、駆動用電極の交差指周期 400μm、反射器の公差指周期 414μm、電極間隙 858.5μm として、駆動周波数 9.61MHz として設計した。

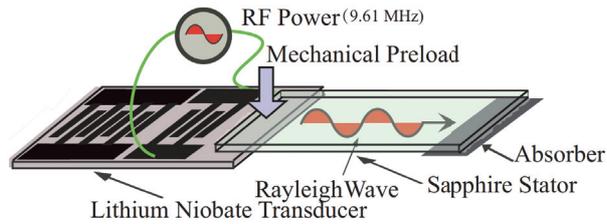


(a) Type I, mechanical preload part is on the surface of the U-IDT transducer.

(2) サファイアガラス基板を導波路とするため、図 1 に示すような、ニオブ酸リチウムトランスデューサの電極面上に、サファイア基板を、予圧を掛けて設置する方法を検討した。図 1 に示すような予圧機構を設計し、試作を行った。

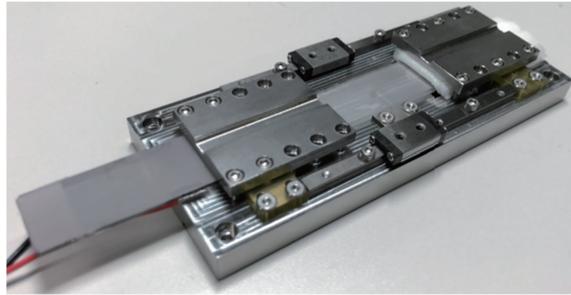
図 1 サファイア基板上への波動励振方法 (上) と設計試作した予圧機構 (下)

(3) サファイアガラス基板を導波路とするもう一つの方法として、図2に示すような、ニオブ酸リチウムトランスデューサの導波路面上に、サファイア基板を、予圧を掛けて設置する方法を検討した。図2に示すような予圧機構により実験を行った。



(b) Type II, mechanical preload part is on the front the U-IDT transducer.

(4) 上記2つの波動励振方法により、励振特性と駆動周波数を検討するため、アドミタンス特性を測定した。その結果を図3に示す。ニオブ酸リチウム基板のみの場合と、サファイアガラス基板を設置した場合で変化は小さく、ニオブ酸リチウム基板による電極とほぼ同様に波動が励振されることを明らかにした。



(b) Type II, mechanical preload part is on the front the U-IDT transducer.

(5) 試作した Type I および Type II の駆動システムについて、駆動電圧を変化させて、サファイア基板上でのレイリー波振動振幅を測定した。振幅測定に当たっては、導波路端部での反射による影響を取り除くため、図1および図2のそれぞれ上図に示したように、導波路端部に振動吸収剤を設置して、反射による定在波を防ぎ、進行波励振がされるようにした。

図2 サファイア基板上への波動励振方法(上)と予圧機構に取り付けた状態(下)

赤いプロットで表したニオブ酸リチウム素子単体の振動振幅と比較すると、サファイア基板上での振動振幅である、青(Type II)と緑(Type I)のプロットは約半分の振動振幅となっている。例えば、駆動電圧約21Vにおいて、9.5nmであった振幅が、それぞれ4.7nm、4.2nmへと低下している。これは、ニオブ酸リチウム基板の特性インピーダンスが、サファイア基板の特性インピーダンスと比較すると低いことがひとつの原因となっている。また、ニオブ酸リチウム基板からサファイア基板への波動伝搬損失も、振幅低下の原因となっている。

ニオブ酸リチウム IDT 素子によりレイリー波を励振し、IDT 電極面もしくは導波路面上にサファイア基板導波路を予圧して機械的に接合することで、サファイア基板導波路にレイリー波を励振し、弾性表面波モータ用のステータとして構成する可能性を明らかにした。

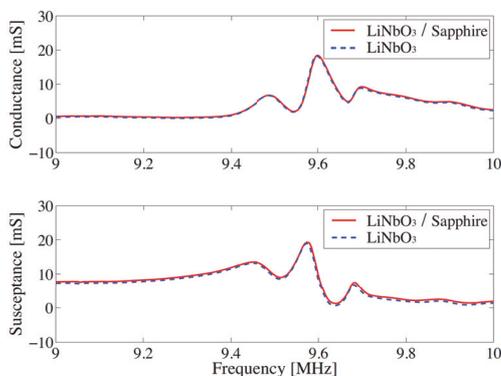


図3 一方向性 IDT 電極のアドミタンス特性

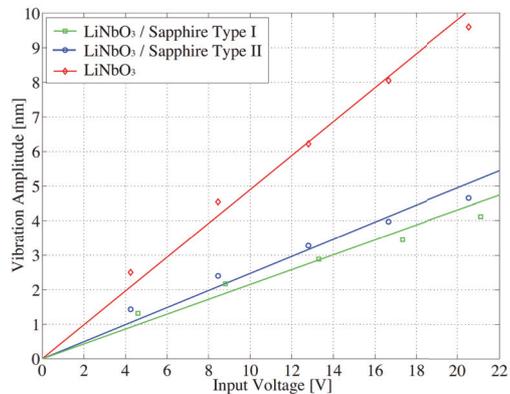


図4 サファイア基板導波路へのレイリー波励振時の振動振幅

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 D. Kong, M. K. Kurosawa	4. 巻 vol. 57, no. 7S1
2. 論文標題 Excitation of Rayleigh wave with sapphire/LiNbO3 mechanical integration for surface acoustic wave motor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.,	6. 最初と最後の頁 07LE07-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 2件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 M. K. Kurosawa
2. 発表標題 Mechanical vibration conversion to RF power using piezoelectric transducers
3. 学会等名 The 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Kong, M. K. Kurosawa
2. 発表標題 IDT Reflector Improvement to Investigate Wave Leakage for a Surface Acoustic Wave Motor
3. 学会等名 IWPMA2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Kong, M. K. Kurosawa
2. 発表標題 A Novel Swimmer Actuator Via Leaky Surface Acoustic Wave
3. 学会等名 2018 IEEE International Ultrasonics Symp.（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Kong, K. Nishio, M. K. Kurosawa
2. 発表標題 A Novel Approach to Swimmer Actuation via Leaky Surface Acoustic Wave
3. 学会等名 The 32nd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孔 徳卿, 黒澤 実
2. 発表標題 弾性表面波による新型スイマーアクチュエータ
3. 学会等名 第39回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾一輝, 孔徳卿, 黒澤実
2. 発表標題 SAWデバイスによるジェット推進型スイマー
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Deqing Kong, Minoru Kuribayashi Kurosawa
2. 発表標題 Excitation of Rayleigh Wave with Sapphire-LiNbO3 Mechanical Integration for Surface Acoustic Wave Motor
3. 学会等名 Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol. 38 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 D. Kong and M. K. Kurosawa
2. 発表標題 Stator evaluation in a surface acoustic wave motor
3. 学会等名 Baltic Conference Series, Stockholm, Sweden, 8-11 October (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 D. Kong and M. K. Kurosawa
2. 発表標題 The Novel Sapphire Stator in a Surface Acoustic Wave Motor
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 形屋寛行, 黒澤実
2. 発表標題 弾性表面波モータの予圧分布変動が与える推力への影響
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 形屋寛行, 黒澤実
2. 発表標題 弾性表面波モータの予圧変動が与える推力への影響
3. 学会等名 日本音響学会2016年春季研究発表会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----