

平成 31 年 4 月 4 日現在

機関番号：84510

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06170

研究課題名(和文) 弾性表面波を用いた乾式マイクロマニピュレーション

研究課題名(英文) Manipulation of Dry Microparticle by Surface Acoustic Wave

研究代表者

才木 常正 (Saiki, Tsunemasa)

兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主任研究員

研究者番号：80470227

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：弾性表面波(SAW)を用いた乾式粒子のマイクロマニピュレーション技術を確立するため、今まで不可能であった絶縁体粉のSAWアクチュエータによる輸送について検討した。その結果、SAWアクチュエータを傾斜、つまり重力を利用することで絶縁体粉を輸送できることがわかった。そして、実用化を考慮し、この傾斜させたSAWアクチュエータにホッパーを取り付けて小型フィーダーを作製した。そして、このSAWフィーダーを用いれば絶縁体粉を数mgで切り出せることがわかった。更に、SAWアクチュエータの応用を検討したところ、SAWには液体攪拌と温度上昇の能力があるため、電気化学分析の分野で利用できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義は今までは不可能であった誘電体粉の乾式精密制御が弾性表面波(SAW)アクチュエータにより可能となり、微小物体の乾式操作技術の一角を構築できたことである。そして、本研究成果により、一粒子操作の域までは達成できなかったが、様々な材料の粉体を数mgで正確に切り出せることから、幅広い分野で利用可能であると考えられる。特に、自動的に薬の調合等が可能な技術であるため、オーダーメイド等の創薬分野に役立ち、これからの日本の高齢者社会において社会的意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：To establish micromanipulation technology of dry powder particles using surface acoustic wave (SAW), we examined about the transport of insulation powders that had not been transported by a SAW actuator. It was found that the insulation powders could be transported by inclining the SAW actuator, i.e., by using the force of gravity. Then, in consideration of practical use, we fabricated and investigated a miniature feeder by a mounting hopper on the inclined SAW actuator. We succeeded in feeding several mg of the insulation powders by the SAW feeder. Moreover, we surveyed about application of the SAW actuator. It was found that the SAW actuator could be used in the field of electrochemical analysis because of its ability both to stir and warm liquid.

研究分野：微小電気機械システム(MEMS)

キーワード：弾性表面波 圧電材料 粉体 粒子 マニピュレータ アクチュエータ 乾式

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、電子や創薬等の産業分野、特に次世代の3Dプリンターやオーダーメイド創薬において、高精度の乾式粉体操作（搬送や分級）が要求されている。しかしながら、固体でありながら液体や気体のように振舞うことが可能な粉体の正確な操作は難しい。特に、数百 $\mu\text{g}$ から数mgオーダーの微量な粉体の乾式輸送は汎用のコンベアやブロワーを単純に小型化しただけでは不可能である。このような微量の微細粉体輸送に超音波振動デバイス<sup>①, ②</sup>を利用する方法が提案されているが、駆動源が多層圧電膜であり搬送路も別途必要となるため、その製作プロセスが複雑となる。そこで、我々は構造が非常に簡単で製作が容易な弾性表面波(SAW)デバイス<sup>③, ④</sup>に注目し、まずは粒径100 $\mu\text{m}$ の導体(銅)を対象とし粉体輸送用のSAWアクチュエータの基礎的研究を行ってきた<sup>⑤</sup>。

### 2. 研究の目的

電子や創薬等の産業分野においては、導体のみならず多種多様な粉体を操作することが求められている。そこで本研究では、絶縁体粉をターゲットにして、SAWによるそれら粉体の輸送特性について調べた。そして、SAWアクチュエータの実用および製品化を見据え、ホッパーを有する小型SAWフィーダーを製作し、その切り出し特性を調べた。更に、SAWアクチュエータの応用として、宇宙生命探査への利用についても検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) SAWアクチュエータの製作

研究で用いたSAWアクチュエータの製作手順を図1に示す。スタート基板として圧電基板( $\text{LiNbO}_3$ : 128度回転Y板X伝播)を用いる。ここで、用いた圧電基板の厚みは500 $\mu\text{m}$ ( $\pm 30\mu\text{m}$ )であり、その表面粗さは0.3nm以下である。この基板の上にDCスパッターによりクロム(Cr)、アルミ(Al)の順に成膜する。CrとAlの膜厚はそれぞれ50nmと1000nmである。次に、ポジ型レジスト(東京応化工業社製OFPR-800)を用いてUV露光を行い、ガラスマスクに描かれた櫛歯電極(IDT)のパターンを転写する。そして、このパターンを基に、AlとCrのエッチングを行うことで、SAWを発生させるIDTを作製する。

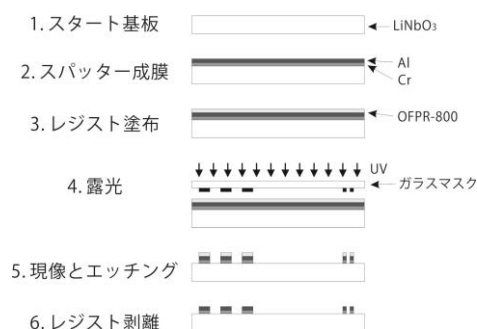


図1 SAWアクチュエータの製作手順

#### (2) SAWアクチュエータの駆動方法

実験では、図2のように、信号発生器(テクトロニクス社製AFG3252)でバースト状の高周波電圧を発生させ、高周波アンプ(R&K社製ALM000110-2840FM)で増幅する。ここでは、高周波電圧としてバースト波形を用いることで、熱による基板の損傷を防いでいる。そして、この増幅された電圧をIDTに印加することによりSAWが発生する。ここでは、IDTへの印加電圧を測定するのではなく、パワーメーター(ローデ・シュワルツ社製NRP-Z91, AR社製DC3001M1)によって供給電力Pを測定している。また、 $\text{LiNbO}_3$ 基板上の粉体操作の様子等はハイビジョンカメラ(ソニー社製HDR-CX430V)を用いて観測している。

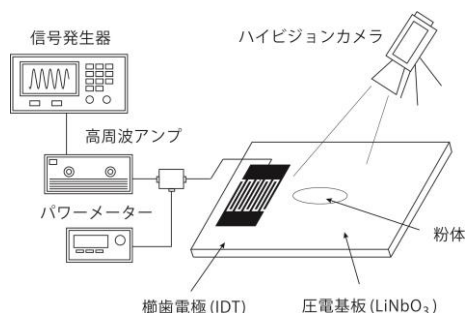


図2 SAWアクチュエータの駆動および観測方法

#### 4. 研究成果

##### (1) 粉体種毎の SAW による輸送特性

LiNbO<sub>3</sub> 基板 (78x18mm) 上に Al の楕円電極 IDT (ピッチサイズ 2mm, 開口幅 10mm, 対数 10) をパターンニングした SAW アクチュエータに電力 P=1W (3.2 MHz の正弦波 1000 サイクルで構成された 1 kHz のバースト波形電圧) を供給した。このとき、基板上に置かれた粒径 100 μm のガラス粉の挙動をハイビジョンカメラで観測した。撮影したビデオデータから、全体としてガラス粉は初期位置から殆ど SAW 下流側に輸送されていないことがわかった (図 3 右側参照)。更に、微小領域を観察すると、粉体個々の粒子が複雑・自由に動いていることもわかった (図 3 左側参照)。後述の事実は SAW を基板上に伝搬させることで粉体粒子を静電気等によって生じる基板吸着力から解放することができることを示している。ちなみに、SAW が伝搬していない LiNbO<sub>3</sub> 基板表面を傾けた時、ガラス粉体粒子は静電気に抑制され、その表面を転げ落ちない。

そこで、粉体を任意の方向に輸送するために、基板を傾斜させ重力を利用する方法について検討した。その結果、基板を傾けることで、SAW によりガラス粉の輸送が可能であることがわかった (図 4 (a) 参照)。更に、粒径 100 μm の他の絶縁 (ポリエチレン) 粉体においても同様の結果が得られた (図 4 (b) 参照)。次に、これら粉体を用いて、基板の傾斜角  $\theta$  と粉体の到達点から計算した速度もとに算出した輸送効率 E の関係を調べた。その結果、両粉とも、 $\theta$  を大きくすることで輸送効率が良くなることがわかった (図 5 参照)。

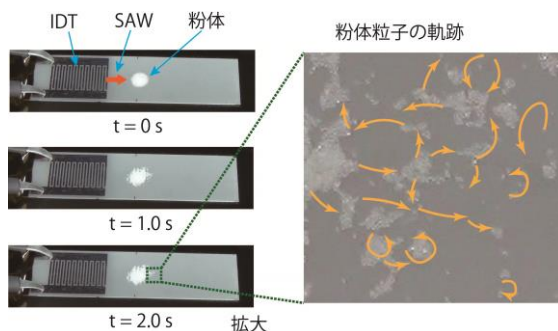


図 3 SAW によるガラス粉の振る舞いと粉体粒子の軌跡 ( $\theta = 0^\circ$ ,  $P = 1 \text{ W}$ )

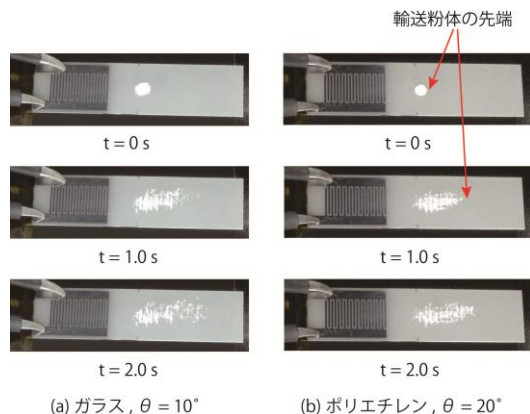


図 4 傾斜面上での粉体輸送の時系列写真 ( $P = 1 \text{ W}$ )

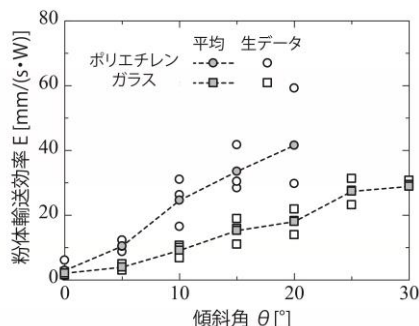


図 5 傾斜角に対する粉体輸送効率の依存性 ( $P = 1 \text{ W}$ )

##### (2) SAW による粉体粒子の高精度操作の可能性

電子や創薬等の産業分野での利用 (例えば、オーダーメイド創薬の自動調合ベンディングマシン等の実用および製品化) を考え、SAW アクチュエータ上に粉体貯蔵用ホッパー (容量 0.35 cm<sup>3</sup>) と誘導壁を取り付け、小型の SAW フィーダーを製作した。ちなみに、このホッパーと壁は

樹脂で作った。そして、この SAW フィーダーを  $6^\circ$  傾け、ホッパーにガラス粉を入れ、電力 1 W で粉体を切り出した (図 6 参照)。このとき、SAW フィーダーからは滝のように粉体が一定に連続して落ちていた。ちなみに、ガラス粉の切り出し速度は 50 mg/s であった。更に、50ms で SAW フィーダーを連続駆動させたところ、正確に 1mg 毎の切り出しができた。

この結果は、SAW による 1 粒子単位の抽出とまではいかないものの、今までに不可能であった数 mg オーダーの高精度の微細粉の切り出しが自動的に SAW により供給できる可能性であることを示唆している。このことから、我々はこの SAW フィーダーが様々な業界に対して技術的なブレークスルーを起こすと考えている。

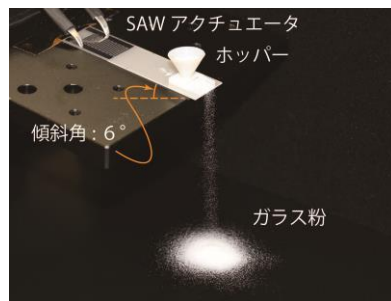


図 6 ガラス粉を切り出している時に撮影した写真 ( $\theta = 6^\circ$ ,  $P = 1 \text{ W}$ )

### (3) SAW アクチュエータの宇宙応用

更に、この SAW アクチュエータの宇宙応用として、惑星生命探査用の総合分析チップについて検討した。具体的には、火星で採掘した岩石粉を SAW によって搬送し液中加入し、それを SAW により攪拌した後に電気化学で分析することができるチップを想定した。前半部は SAW 小型フィーダーの応用技術を利用できるので、ここでは後半部に焦点をあて SAW 発生の IDT と電気化学検出の三電極系 (作用電極 W, 参照電極 R, 対極 C) を統合したセンサを製作し (図 7 参照)、その電気化学検出特性を評価した。

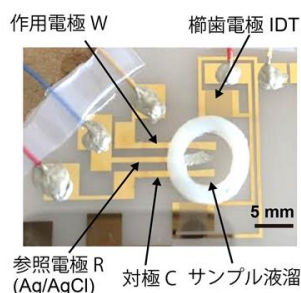


図 7 製作した IDT と 3 電極系を統合したセンサ

実験では、SAW によるセンサの高感度化を検討するため、フェロセン単体での電気化学検出を行った。具体的には、製作したセンサにカリウムリン酸緩衝液 (50mM, pH7) を液溜めにセットして一定電圧 +250mV を W-R 極間に印加した。そして、IDT に電力を供給して、最終濃度が 200mM で  $50\mu\text{l}$  の溶液になるようにフェロセンを投入し、電気化学検出特性を調べた。その結果、供給電力を高くする、つまり SAW の振幅を大きくするに伴い、W-C 極間電流が増加して推移することがわかった (図 8 参照)。このことから、SAW を用いることで高感度の電気化学検出が可能であることが明らかになり、宇宙生命探査チップへの可能性が見出された。

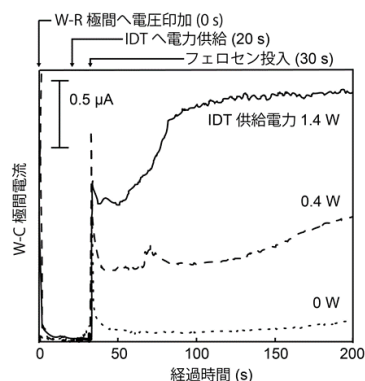


図 8 SAW を用いた場合の W-C 極間電流の推移

<引用文献>

- ① M. Mracek, J. Wallaschek, A system for powder transport based on piezoelectrically excited ultrasonic progressive waves, *Materials Chemistry and Physics*, 90, 2005 378-380
- ② U. Kuhne, U. Fristsching, Dosage of highly disperse powders by ultrasound agitated tube modules, *Powder Technology*, 155, 2005, 117-124
- ③ A. Sano, Y. Mtsui, S. Shiokawa, New manipulator based on surface acoustic wave streaming. *Japanese Journal of Applied Physics*. 37, 1998, 2979-2981
- ④ T. Saiki, K. Okada, Y. Utsumi, Micro liquid rotor operated by surface-acoustic-wave, *Microsystem Technologies*, 16, 2010, 1589-1594
- ⑤ T. Saiki, Y. Matsui, A. Yamaguchi, M. Takeo, K. Maenaka, and Y. Utsumi, High-Performance Feeder Driven by Surface Acoustic Wave for Micro Powders, *Proc. of 40th International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE2014)*, P2-12-Tu

4. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① T. Saiki, A. Tsubosaka, A. Yamaguchi, M. Suzuki, and Y. Utsumi, Interdigital Transducer Generated Surface Acoustic Waves Suitable for Powder Transport, *Advanced powder technology*, Vol.28, 2017, pp.491-498
- ② H. Sakamoto, H. Kitanishi, S. Amaya, T. Saiki, Y. Utsumi, and S. Suye, Development of a high-sensitive electrochemical detector with micro-stirrer driven by surface acoustic waves, *Sensor and actuator B*, Vol.260, 2018, pp.705-709

[学会発表] (計2件)

- ① T. Saiki, A. Tsubosaka, A. Yamaguchi, M. Takeo, M. Suzuki, and Y. Utsumi, Development of Miniature Micro-Powder Feeder Driven by Surface Acoustic Wave for Practical Use, 42nd International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE2016), Wed-C2-159, p.134, Vienna, Austria
- ② T. Saiki, K. Iimura, A. Yamaguchi, M. Takeo, Y. Utsumi, and M. Suzuki, Study on surface acoustic wave actuator utilizing gravity for feeding various kinds of micro-powders, 44th International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE2018), P0-52, Copenhagen, Denmark

[図書] (計0件)

[産業財産権] (計0件)

5. 研究組織

研究協力者氏名：内海裕一

ローマ字氏名：(UTSUMI, Yuichi)

研究協力者氏名：山口明啓

ローマ字氏名：(YAMAGUCHI, Akinobu)

研究協力者氏名：鈴木道隆

ローマ字氏名：(SUZUKI, Michitaka)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。