

微細加工技術を用いた超小型香りディスプレイの開発

Development of a Micro-fabricated Olfactory Display

2171002



研究代表者
(助成金受領者)

大阪大学大学院 基礎工学研究科

助教

石塚 裕己

[研究の目的]

近年、五感への情報提示実現への関心が高まっている。五感への情報提示を実現するためには、五感情報伝達を可能とするデバイスを実現することが焦眉の急である。視覚や聴覚に対して情報を提示するデバイスに関しては多くの研究が行われており、イヤホンやテレビといった形で実用化がなされている。触覚に関しては多くのデバイス実現に関する研究が行われているものの、実用化されるような例は殆ど見られない。しかし、近年電子部品メーカーが触覚提示用モジュールを開発していたり、携帯ゲーム機にリアルな触感提示機能が搭載される等、今後触覚デバイスの実用化が進んでいくことが期待される。残る五感の味覚、嗅覚を再現する研究に関しては殆ど研究が行われていない。この中でも嗅覚に関しては触覚や味覚にも影響を与えることができるということが研究によって示唆されており、嗅覚への情報提示を実現することは五感への情報提示を実現し、クロスモーダルな感覚を実現する上で必要不可欠である。現在までに嗅覚への情報提示を行うためのデバイスに関しては多くの研究が行われている。一方で、それらのデバイスは装置が大きいため、携帯するような用途には使えないといったことや提示可能な香りの種類が少ないといった問題点があった。これらの問題点を解決するために、

本研究では微細加工技術を用いて構成要素を小型化した、香りディスプレイを実現する。人間が知覚するために必要な香りの量は数nl程度で良いということが知られているので、小型化しても十分に芳香が可能である。

[研究の内容, 成果]

図1に本研究の香りディスプレイの外観を示す。本香りディスプレイは静電気力によって駆動するシリコン製の弁、香料を溜めるためのガラス製のリザーバと香料を揮発させるためのヒータが形成されたシリコン基板から構成されており、これらは陽極接合によって接合されている。また、電気浸透流ポンプを取り付けることで、香料を送液することが可能になると考えている。更には、複数の電気浸透流ポンプを組み合わせれば、香料を組み合わせて芳香することも可能になる。本香りディスプレイの駆動原理を図2に示す。液体香料がリザーバ内部に充

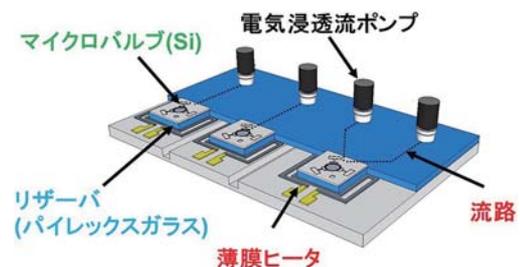


図1 香りディスプレイの構成

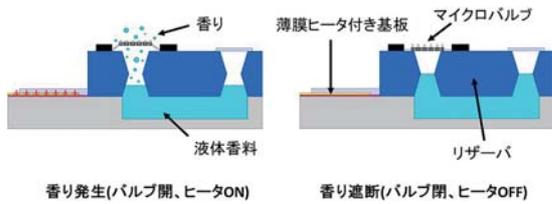


図2 香りディスプレイの原理

填されており、リザーバは静電気力によって駆動する弁によって密閉されている。ヒータに電圧を印加することによって熱を発生させる。熱は熱伝導率の高いシリコン基板を伝わって香料へと伝達され、香料が加熱される。

これによって香料が気化する。弁に電圧が印加されていない状態では弁がリザーバ部を覆うようになっている。これによって香りが拡散されない状態になっている。一方、弁に電圧を印加して静電気力を発生させることで弁が上に引き上げられる。電圧を印加して弁が開いた状態で、香料を気化することで香りを拡散させることができる。このように本香りディスプレイは弁の開閉とヒータによる香料の気化を組み合わせることで、香りの発生を制御することが可能になっている。弁は蓋（香料封止板）が固定歯と可動歯から構成される静電アクチュエータとヒンジによって支持された構造になっている。電圧を印加していない状態では蓋によりリザーバ内が大気から遮断されている。それによって香料は大気中に拡散されない。静電アクチュエータに電圧を印加することで、静電アクチュエータの可動歯が固定歯場に引き込まれ、その結果、蓋が上に持ち上がり弁が開放される。これによりリザーバ内が大気開放され、香料を大気中に拡散することができる。駆動電圧が80Vの条件下で8 μ mの弁の変位が発生するようにマイクロバルブを設計した。本香りディスプレイにおいて香料を貯蔵するリザーバに関しては人間が香料を気化させた際に数nlの香料の拡散で芳香を感じられることから、1000回程度芳香できるだけの香料が溜められる寸法を目標とした。香料を芳香させるための薄膜ヒ-

表1 香りディスプレイの仕様

構成要素	仕様
マイクロバルブ	バルブ径： ϕ 3.0 mm
	チップサイズ：1 cm \times 1 cm
	目標バルブ駆動距離：8 μ m (@80 V)
リザーバ	穴径： ϕ 2.0 mm
	深さ：1.0 mm
	*目標噴出回数：1000回
流路	幅 \times 高さ \times 長さ：300 μ m \times 300 μ m \times 10000 μ m
	幅 \times 高さ \times 長さ：500 μ m \times 0.1 μ m \times 30 mm
薄膜ヒータ	ヒータ：Ti, 配線：Au
	目標加熱温度：250 $^{\circ}$ C

タに関しては B-ionone のような低揮発性の香料も芳香することも可能にする必要がある。香料を250 $^{\circ}$ Cまで加熱できれば、ほぼすべての香りを発生させることができると考えた。薄膜材料としては比較的高い抵抗値を持つチタンを選定した。

目標温度や材料の特性を加味してヒータを設計した。また、薄膜ヒータ部には、電気浸透ポンプを用いて香料を送液することを加味して、電気浸透ポンプとヒータ部を繋ぐ流路が形成されている。表1に上述した設計指針に基づいて決定したバルブ、リザーバとヒータの設計仕様を纏める。

マイクロバルブの作製工程は、SOI（厚さ/300 μ m）基板の両面をクロムをマスクとしてICP-RIE装置を用いたドライエッチングでSOI基板を加工し、歯型のアクチュエータと指示部が形成されたマイクロバルブを作製した。リザーバの作製工程としては、パイレックスガラスの両面にスパッタリング装置で、CrとAuを成膜し、強フッ酸を用いたウェットエッチングによりパイレックスガラスを局所的に溶解させることで、製作した。薄膜ヒータと流路の作製工程は、スパッタリング装置で、Cr, Au, Tiを成膜し、それぞれCrエッチング液、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液、BHFを用いたウェットエッチングでヒータ部、配線部を形成し、流路部は、ICP-RIE装置を用いたドライエッチングにより製作した。作製したマイクロバルブ、リザーバ、薄膜ヒータを陽極接合に

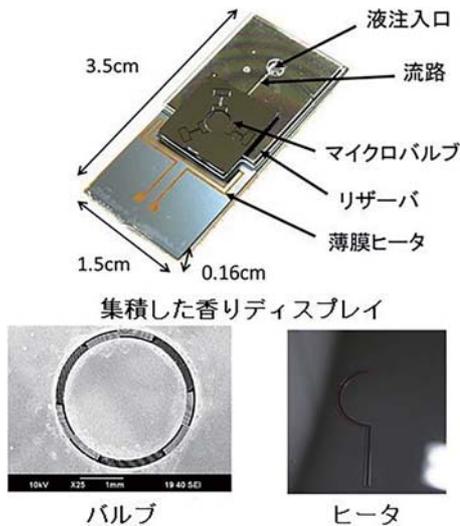


図3 作製した香りディスプレイとその構成要素

よって接着することで香りディスプレイとした。接着後の完成したデバイスの外観写真と構成部品の写真を合わせて図3に示す。駆動のための櫛場電極とヒンジが形成されていることと流路と組み合わせられたヒータが形成できたことが確認される。デバイスの大きさは、W: 1.5 cm×H: 3.5 cm×D: 0.16 cmであり、従来のものと比較して小さく、香り拡散部に関しては小型というコンセプトが実証できている。作製したバルブの特性評価を行った。バルブの評価ではバルブの静電アクチュエータへの入力電圧とバルブの蓋の変位量との関係の評価した。実験では静電アクチュエータに電圧を印加して、その際の静電気力によるバルブの蓋の変位量を非接触型干渉顕微鏡 (Bruker Corp., WYKO) を用いて計測した。入力電圧は0 V から 80 V とし、10 V 刻みで電圧値を変化させた。

図4に静電アクチュエータへの入力電圧と蓋の駆動距離との関係を示す。印加電圧によって蓋が変位していることが確認された。入力電圧が増加するにつれて蓋の変位が増加しており、80 V で7 μm の蓋の変異が確認され、設計目標である8 μm に近い変位が実現できた。静電アクチュエータへの入力電圧によって蓋の開閉量が制御できていることから、作製した静電アクチュエータは香りの芳香量の制御に適用できる

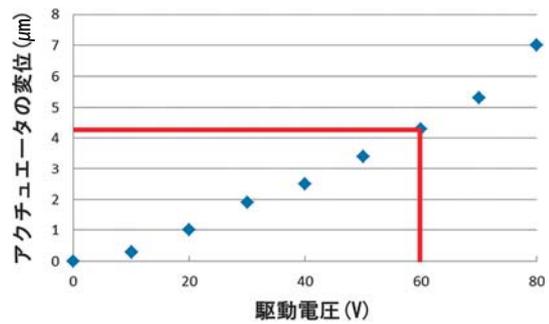


図4 駆動電圧とアクチュエータの変位

ものと考えられる。

作製したヒータの温度特性を評価し、実際に香料の揮発を行った。実験では、香りディスプレイのヒータ部に電圧を入力し、その際のヒータ付近の温度を非接触式の温度計を用いて測定した。それによって入力電圧とヒータ温度の関係を評価した。尚、ヒータは2種類の寸法で作製した。ヒータへの入力電圧は0 V から 60 V として、10 V 刻みで電圧値を変化させた。

図5にヒータへの入力電圧とヒータの周辺の温度との関係を示す。印加電圧によって温度が上昇していることが確認され、高温用は最大で200°Cまで温度が上昇した。200°C付近まで温度が上昇していることから、低揮発性の香料でも十分に芳香できると考えられる。本実験の結果から、ヒータへの入力電圧制御によって温度制御が可能であり、それによって芳香を制御できると考えられる。

低揮発性の香料の β -ionone (沸点 239°C) を香料として芳香が可能かとガスセンサを用いた芳香の測定が可能かを確認した。実験では作製した香りディスプレイとガスセンサ (Figaro,

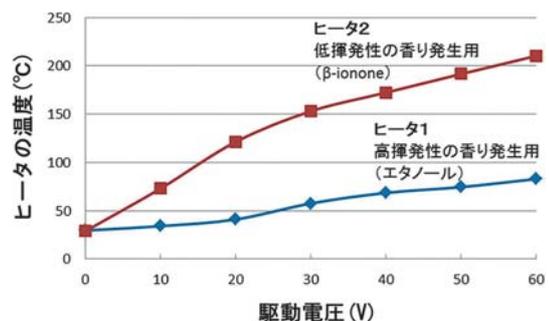


図5 駆動電圧とヒータ温度

TG822) を密閉容器内に取り付けた。このガスセンサはエタノール等のガスの濃度が増加するにつれて出力が変化するという性質をもっている。ヒータに 60 V の電圧を印加して、約 200℃ で低揮発性の香料の β -ionone を加熱して、バルブを開いた状態とした。バルブの開閉量は最大変位の約半分程度の 4 μm とした。そして、ガスセンサの出力を確認することで、実際に香料を揮発可能か確認した。尚、これらの実験は室温にて実験を行った。

図 6 に β -ionone を用いた芳香実験の結果を示す。センサ応答が時間経過と共に増加しており、香料が完全に揮発することで出力が減少した。この結果から、 β -ionone が芳香できていることと、センサによって芳香を測定できることを確認した。これのことから低揮発性の香料の芳香が行えており、低揮発性の香料でも十分に芳香ができることがわかった。しかし、 β -ionone の場合には徐々にセンサ出力が上がっており、芳香に時間がかかる事も確認された。このことから、低揮発性の香料を使用する場合には即時に芳香することは難しいと考えられる。

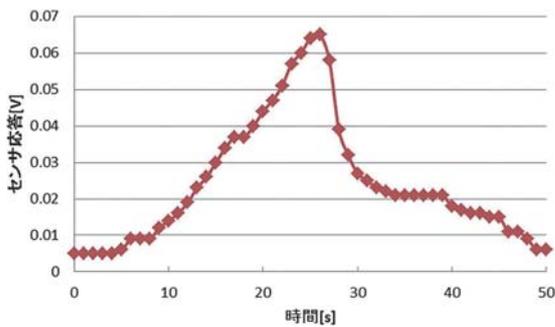


図 6 バルブ開放とセンサ応答

[今後の研究の方向, 課題]

前述した香りディスプレイは微細加工技術によって作製しており、十分に小型かつ香りを発生させることが可能であった。しかし、本香りディスプレイはバルブ部が脆く、また作製が非常に困難であるという問題があった。そのため、

長期的な使用やデモンストレーションを行うことに難があり改良が必要であった。また、当初の予定であった電気浸透流ポンプが調達できないという問題から、デモンストレーションに耐えうるような香りディスプレイを実現するためには、装置の構成を見直す必要があった。そこで、現在は本香りディスプレイを精密加工によって作製することを検討している。本香りディスプレイは小松精機工作所が作製したマイクロメタルポンプ、超微細粒鋼によって作製したマイクロヒータから構成される。マイクロメタルポンプはリザーバに接続されており、リザーバ内の香料を送液する。送液された香料はヒータ部に送られ、ヒータの発熱によって気化され芳香が行われる。複数のマイクロメタルポンプを接続し、それぞれのメタルポンプを制御することで複数の香料を扱えるようになる。これによって香りの強度だけでなく、混合比も制御できるようになる。本マイクロメタルポンプは 1 cm × 1 cm 程度の大きさであるため、十分に小型であると言える。マイクロメタルポンプは駆動のためにバッテリーと昇圧回路を必要とするため、ある程度装置自体は大きくなってしまふ。

しかし、バッテリーを共有化にして駆動できれば、複数のマイクロメタルポンプを使用した

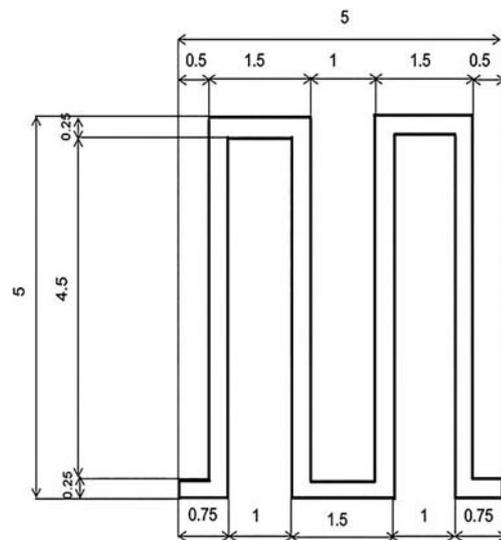


図 7 試作したヒータ (単位: mm)



図8 芳香実験の様子

としても装置自体はそこまで大きくならず、従来の香りディスプレイと比較しても十分に小型化できると考えられる。

マイクロメタルポンプに関しては寸法や駆動条件の最適化はすでに行われているために、まずヒータ部の設計を行った。その際の寸法を図7に示す。寸法は試作と実験によるフィードバックから決定されている。このヒータに通電して市販の香料を気化させたところ、図8に示すような簡易的な実験を行い、目視にて煙が生

じていたことから香料を気化できることを確認できた。このことから、本ヒータは香料を十分に芳香することが可能な性能を有していると言える。今後の課題としては、作製したヒータとポンプを実装することである。また、香料の切り替えや芳香量制御のためのマイコンによる制御を行うことも必要となる。その後、本香りディスプレイの芳香をガスセンサによって計測し、単一の香料を芳香した場合の時間と香りの強度の関係、複数の香料を使用した場合の混合量と香りの強度の関係の評価を行う。また、被験者による官能試験によって、芳香が人によっても十分に知覚されるかを明らかにしていく予定である。

[成果の発表, 論文等]

Ishizuka et al., Development of a Heat-Driven-Type MEMS Olfactory Display, Proceedings of Euro-sensors 2018, 2018.