

生体機能指向型匂いセンサにおける弾性表面波の伝播特性の解析

その他（別言語等）のタイトル	Analysis of surface acoustic wave propagation velocity in biological function-oriented odor sensor
著者	楊 玉霞
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第424号
研究科・専攻	工学専攻
学位授与年月日	2018-09-26
URL	http://doi.org/10.15118/00009699

氏 名 楊 玉霞

学 位 論 文 題 目 生体機能指向型匂いセンサにおける弾性表面波の伝播特性の解析

論 文 審 査 委 員 主査 教 授 永野 宏治
教 授 福田 永
准教授 澤田 研

論文内容の要旨

近年、人間と同様に「匂い」を識別できる「匂いセンサ」が開発されているが、その性能は人をはじめとする生体におよばないのが現状である。著者は「匂いセンサ」を実現するために、生体機能物質を利用したSurface Acoustic Wave (SAW) デバイスにおける弾性表面波の伝播特性を研究した。本論文は、匂い結合タンパク質を設置したSAWデバイスにおける弾性表面波の伝播特性を理論及び実験により検討した結果について述べている。

室蘭工業大学の岩佐研究室では両生類のイモリを対象に嗅覚関連タンパク質を研究し、イモリ嗅上皮に特異的に発現するCynops pyrrhogaster lipocalin 遺伝子を発見した。岩佐らはこの遺伝子からできた匂い結合タンパク質をCp-Lip1と呼んでいる。また、室蘭工業大学の福田研究室では匂いセンサを実現するためにSAWデバイスを研究している。本研究では、このCp-Lip1匂い結合タンパク質とSAWデバイスを匂いセンサに用いている。

第2章では、弾性表面波の伝播を理論解析し、SAWデバイスにおける弾性表面波の伝播速度の理論式を導出した。室蘭工業大学の福田研究室で開発したSAWデバイスにおいて、SAWの伝播経路上に匂い結合タンパク質を含む液体層を作成した。この液体層では、レーリー波、漏洩レーリー波、縦波が伝播する。この理論解析により、このSAWデバイスの液体層で伝播するSAWの総伝播速度を明らかにした。

第3章では、SAWデバイスにおいて、試料溶液を溝に置いた時のSAWの伝播特性の測定について述べた。測定実験では、IDT電極間距離は25.00mm、圧電材料は42Y-45X STカット水晶基板のSAWデバイスを使った。このSAWデバイスの周波数は157.6MHzである。まず、エタノールとBSAタンパク質を試料溶液として使って、導出したSAWの伝播速度の理論式が有効であることを明らかにした。次に、匂い分子を使った実験で使用する溝の適切なサイズを決めるために、二つの異なるサイズの溝を使ってSAWの受信側IDTの感度を調べた。その結果、溝幅0.41mm-溝高さ0.26mmの溝基板は溝幅0.24mm-溝高さ0.25mmの溝基板よりSAWの受信側IDTの感度が良いことを明らかにした。匂い分子を同定する実験では、Cp-Lip1匂い結合タンパク質に対して5種類の単一匂い分子の影響を調べた。実験では、異なる濃度の5種類の単一匂い分子をSAWデバイス上でCp-Lip1に反応させ、SAWの伝播特性の変化を測定した。

第4章では、SAWデバイスにおけるこの5種類の単一匂い分子の理論速度を計算し、実験結果との比較を述べた。SAWデバイスにおける弾性表面波の実験結果と理論計算の伝播速度はほぼ一致していた。

以上のように、本論文は、Cp-Lip1を用いたSAW型匂いセンサを使って匂い分子を同定できる可能性があることを示した。

ABSTRACT

Biological function-oriented odor sensors are required to fulfil needs for various applications of biological electronic nose systems. Surface acoustic wave (SAW) devices, in which Rayleigh waves propagate, have also been studied for biological function-oriented odor sensors. I describe measurement of SAWs velocities to identify five odorant molecules by using a SAW device as the biological function odor sensor.

Dr. Tatsuo Iwasa in Muroran Institute of Technology has studied olfactory related proteins in amphibian newts. He found a *Cynops pyrrhogaster* lipocalin (Cp-Lip1) protein, an odorant-binding protein discovered in newts, which can combine with various hydrophobic odorant molecules. Dr. Hisashi Fukuda in Muroran Institute of Technology has studied SAW devices to realize odor sensors. In this study, I used the Cp-Lip1 odorant-binding protein and the SAW device as an odor sensor.

In chapter 2, I determined a new mathematical formula for estimating the velocity of SAWs. Surface acoustic waves propagate from InterDigital Transducer (IDT) generating leaky Rayleigh waves when liquid is on the quartz substrates in the SAW device developed in Dr. Fukuda laboratory. The Leaky Rayleigh waves travel radiating longitudinal waves into a liquid layer. On the other hand, Rayleigh waves propagate in the vacuum-solid interface.

In chapter 3, I measured the propagation velocities in a SAW device in which ethanol, BSA protein and five kinds of odorant molecules were used as liquid medium. I used ethanol and BSA protein as sample solutions and clarified that the theoretical formula for estimating the velocity of SAWs is effective. In order to determine the appropriate size of the groove two different sizes of grooves were examined. The groove with width-height of 0.41mm-0.26mm showed higher intensity than the groove with width-height of 0.24mm-0.25mm did. Then five kinds of odorant molecule solutions were placed on the SAW device which had the groove with width-height is 0.41mm-0.26mm. I identified five kinds of odorant molecules in the measurement of SAWs velocities.

In chapter 4, I compared between the theoretical and the experimental velocities in order to verify validity of the SAW device for the biological function-oriented odor sensor. I showed that the theoretical and the experimental propagation velocities of the five kinds of odorant molecule solutions were nearly identical.

I have described that our frequency equation can predict different odorant molecules in the SAW device. My study provides the basis for a new method for developing biological function-oriented odor sensors.

論文審査結果の要旨

本論文は、生体から取り出した匂い結合タンパク質を使った匂いセンサを、弾性表面波デバイスにより実現するための基礎的な研究成果をまとめている。本論文では、匂い結合タンパク質Cp-Lip1を含む液体を弾性表面波(SAW)デバイスの表面の溝内に設置する新しい手法に基づくSAW型匂いセンサについて、弾性表面波の伝播を理論と実験で検討した。Cp-Lip1は、イモリの嗅組織から取り出した匂い結合タンパク質である。本論文は、まず、SAWデバイス上の溝内を漏洩レーリー波と縦波が互いに変換して伝播する時の伝播速度を理論的に検討した。また、Cp-Lip1を使うSAW型匂いセンサで5種の単一匂い物質に対するSAWの伝播速度の変化を測定する実験を行った。そして、単一匂い物質により、SAWの伝播速度が変化することを示した。

本論文は全5章からなる。第1章は緒論である。本研究では、生体機能指向型匂いセンサを実現するために、(1)匂い結合タンパク質に反応するSAW型匂いセンサのための信号処理法を開発すること、(2)Cp-Lip1匂い結合タンパク質を用いたSAW型匂いセンサにおける弾性表面波の伝播特性を理論計算と実験により明らかにすることを目的とした。第2章では、SAWデバイスにおける弾性表面波の伝播特性を理論的に検討した。SAWデバイスにおける弾性表面波の伝播速度は基板及び基板上の液体の密度と弾性定数に依存する。そして、固体/真空、固体/液体界面での境界条件を検討して弾性表面波の理論式を導出した。第3章では、Cp-Lip1匂い結合タンパク質を用いSAW型匂いセンサの特性を検討した。そのために、まず、SAWデバイスの出力の感度が良い溝のサイズを調べた。次に、SAWの伝播速度の理論式が本センサにおいて有効であることを実験で確認した。さらに、SAW型匂いセンサで、Cp-Lip1と結合した5種類の単一匂い分子を実験的に同定できることを示した。第4章では、匂い分子を同定するためのSAW型匂いセンサにおける弾性表面波の伝播速度を検討した。そして、SAW型匂いセンサを使って異なる匂い分子が同定できることを確認した。第5章は結論である。

本論文は生体の機能物質を使った新しい手法による匂いセンサの実現にむけて電子計測工学、生物物理について新たな知見があり、工学的貢献が期待できることから、学位論文の審査に合格と判定し、本論文は博士(工学)の学位論文に値すると認める。