

# TV ホワイトスペース利用のための超広帯域弾性波共振子を用いた可変フィルタの研究開発(135002101) Tunable filter using ultra-wideband resonators for cognitive radio using TV white space

## 研究代表者

田中秀治 東北大学大学院工学研究科ロボテス専攻  
Shuji Tanaka Tohoku University Graduate school

## 研究分担者

門田道雄 東北大学大学院工学研究科ロボテス専攻  
Michio Kadota Tohoku University Graduate school

研究期間 平成 26 年度～平成 27 年度

## 概要

新たに開発した  $\text{LiNbO}_3$  (LN) 薄板上  $\text{SH}_0$  モード板波は、これまで報告されたなかで最大の圧電性を持つ。これを用いて、デジタルテレビの帯域を完全にカバーする比帯域 41~59% の超広帯域ラダーフィルタを、世界で初めて実現した。このフィルタは、提案されているアップコンバージョン方式のコグニティブ無線で使用されているローパスフィルタの欠点を解決するフィルタであり、そのシステムに有望である。また、複数の広帯域共振子と容量可変 Si ダイオードを接続した広帯域帯域可変阻止フィルタと、この超広帯域フィルタとを組み合わせ、周波数可変フィルタを実証した。DTV 帯域でこれらの共振子・フィルタを実現するには、0.5~0.6  $\mu\text{m}$  厚の LN 薄板とその下に空洞を必要とし、機械的強度に課題があったが、空洞が不要で、LN 厚を 3~7 倍にできる、電極/LN/6 層の音響膜/保持基板構造を考案、試作し、空洞構造  $\text{SH}_0$  モード並みの共振子とフィルタを実現した。この構造は、機械的強度があり実用化に適した構造である。

### 1. まえがき

現在、携帯電話、スマートフォンの普及によって無線通信周波数帯は過密状態にある。そのため、デジタルテレビ(DTV)で使用している周波数帯のうち、使用していないチャンネル(ch)の周波数帯を有効利用するコグニティブ無線の研究が盛んに行われている。コグニティブ無線では、使用されていない ch のうち、1 ch 分、隣り合う 2 ch 分、4 ch 分のいずれかを利用して通信を行う。そのため、任意の ch と帯域を選択する小型フィルタが強く要求されている。470~710 MHz の広い DTV 帯域において必要とされる広帯域な弾性波フィルタ、および周波数可変フィルタを実験的に実証することが、本研究の目的である。

### 2. 研究開発内容及び成果

#### 2. 1. 大きな電気機械結合係数を持つ振動モード

共振子の帯域は用いる振動モードの電気機械結合係数(以下、結合係数)に比例する。大きな結合係数を得るため、 $\text{LiNbO}_3$  (LN) 基板の横波型板波に注目し、オイラー角(0°, 120°, 0°)の方位角で(後述の図 7 の破線参照)、かつ基板厚が波長の 10% 以下で、50% を超える大きな結合係数を持つ横波型基本( $\text{SH}_0$ )モード板波を見出した(登録特許番号: 5747987, 2015.5.22 登録)。

#### 2. 2. 超広帯域ラダーフィルタ

その  $\text{SH}_0$  モード板波を用いて、図 1 に示すような従来共振子の 1.8 倍の帯域を持つ DTV 帯用共振子を実現した。さらに、この共振子を 3 個梯子型に接続したラダーフィルタを試作し、図 2 に示すような DTV 帯域をフルカバーできる超広帯域 41~59% を実現した。この帯域や減衰量は

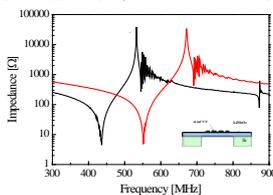


図 1. DTV 帯用  $\text{SH}_0$  モード板波共振子の特性

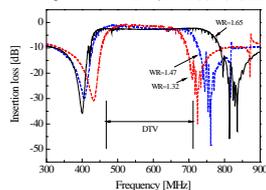


図 2. 波長比(WR)を変え作製した  $\pi$  型ラダーフィルタの特性。

電極設計や共振子を増やすことで改善できる。コグニティブ無線システムとして、710 MHz 以下を通過させるローパスフィルタと帯域可変 IF (中間周波数段) フィルタを用いたアップコンバージョン方式が提案されているが、そこで使用されているローパスフィルタは 470 MHz 以下の周波数まで通過させてしまう、急峻性が悪い、サイズが大きいという欠点があったが、本研究で開発した広帯域フィルタはその欠点を解消するものである。また、提案されている帯域可変 IF フィルタの代わりに 3 種の帯域をもつ IF フィルタを用い、所望の帯域に応じてスイッチで切り替える方式に対しても有望である。

#### 2. 3. 広帯域フィルタと帯域阻止フィルタとの組合せ

周波数の異なる共振子を複数個使用することによって、阻止帯域の広い帯域阻止フィルタを実現した。それらの共振子に並列あるいは直列に接続された Si ダイオードに電圧を印加し、帯域阻止周波数を変化させた。その様子を図 3、4、5 に示す。前述の図 2 の広帯域ラダーフィルタと図

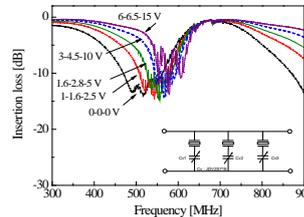


図 3. 共振子に直列接続された Si

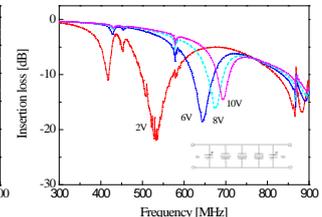


図 4. 共振子に並列接続された Si

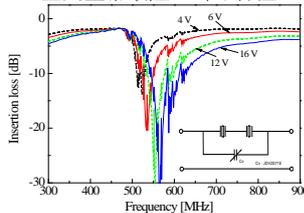


図 5. 共振子に並列接続された Si

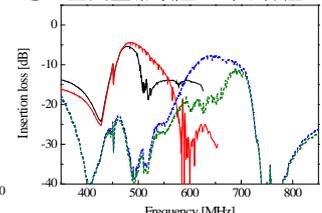


図 6. 広帯域ラダーフィルタに図 3,4,5 の帯域阻止フィルタを組み合わせ、周波数可変フィルタの特性。

3、4の帯域阻止フィルタを組み合わせた特性を図6の破線で、図4、5の帯域阻止フィルタとを組み合わせた特性を実線で示す。このように、DTV帯域を完全にカバーする広帯域フィルタに、複数個の共振子とSiダイオードを組み合わせた帯域阻止フィルタを組み合わせることによって、480~690 MHzまで中心周波数を大きく可変できるフィルタが実現できた。

## 2. 4. 音響多層構造 SH 波

上述の SH<sub>0</sub>モード板波デバイスは空洞が必要な上、板厚が薄く、機械的強度に課題がある。そこで、薄膜バルク波で研究されている空洞不要な音響多層膜構造を多層膜構造 SH 波に適用する可能性を電極/LN 薄板/SiO<sub>2</sub>膜と AlN 膜の交互 6 層/ガラス保持基板構造で検討した。その結果、多層構造の最適オイラー角は(0°,90°,0°)で、前述の SH<sub>0</sub>モードの最適方位角とは大きく異なることを見出した。3種の電極を有する多層構造共振子の LN 厚みに対する帯域を、空洞構造の SH<sub>0</sub>モード板波(破線)と比較して図7に示す。最適基板厚は波長の30~70%であり、SH<sub>0</sub>モードに比べ3~7倍厚板化できる。また、最適電極材料も SH<sub>0</sub>モードのアルミニウムに対し、白金、金などの高密度電極であり、この点でも大きく異なる。その構造で共振子を試作したところ、図8に示すように、SH<sub>0</sub>モード並みの帯域と3 dB 大きいインピーダンス比を持つ共振子が得られた。この構造は空洞が不要で、しかも LN を厚くできるため、実用上、大きな利点を持つ(特願 2014-196608, 2014.9.26 出願)。

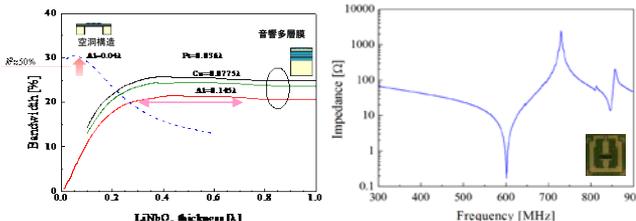


図7. 音響多層膜構造 SH 波共振子の帯域の(0°,90°,0°)LN 板厚依存性。

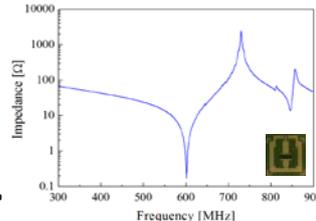


図8. 音響多層膜構造 SH 波共振子の特性。

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

開発した SH<sub>0</sub>モード板波を用いて、DTV帯域をフルカバーし、急峻で低損失な超広帯域ラダーフィルタを実現した。これは、提案されているアップコンバージョン方式のコグニティブ無線システムで使用されているローパスフィルタの欠点を解決するフィルタであり、提案されたシステムに有望である。また、広帯域フィルタを、局部発振器、3種の帯域をもつ IF フィルタと組み合わせ、必要とされる帯域を RF スイッチで切り替えるコグニティブ無線システムにも有望であると考えられる。

さらに、超広帯域フィルタと広帯域可変帯域阻止フィルタとを組み合わせを提案し、周波数可変幅 27%をもつ周波数可変フィルタを実現し、提案した原理を検証することができた。このうち帯域阻止フィルタ数組を RF スイッチで切り替えることによって、DTV の全帯域を周波数可変でき、コグニティブ無線システムも非常に有望である。今後、DTV 周波数を用いたコグニティブ無線システムの実用化が促進されれば、このフィルタはスマートフォン等による周波数過密化解消の一役を担うものと考えられる。

また、本テーマで開発した超広帯域フィルタは、今後、急峻なカットオフ特性と広帯域が要求されるコグニティブ無線以外のシステムにも有望なフィルタとして期待されるデバイスである。

上述の SH<sub>0</sub>モード板波を DTV 帯で利用するためには、

0.5~0.6 μm の超薄板とその下に空洞を必要としたが、新たに開発した音響多層膜構造 SH 波デバイスは、空洞構造 SH<sub>0</sub>モード板波デバイス並みの特性を持ち、しかも、空洞が不要な上、厚みが空洞型の3倍から7倍で、デバイスを実現できるため、今まで、実用が困難であった広帯域で特性の良いデバイスが実現でき、新しい市場、新しい周波数帯への応用が期待される。

これらの成果や技術的手法は、コグニティブ無線用フィルタはもちろん、その他の応用にも適用可能である。これらのデバイスに関する民間企業との共同研究開発や技術移管でも画期的な成果を創出し、今後、益々重要になる無線通信デバイスの技術革新に貢献していくものと考えられる。

## 4. むすび

本テーマで、大きな結合係数をもつ SH<sub>0</sub>モード板波を開発した。この板波を用いて、DTV帯を完全にカバーでき、急峻で低損失な、世界初の超広帯域ラダーフィルタを実現した。このフィルタは、提案されているアップコンバージョン方式のコグニティブ無線システムのローパスフィルタの欠点を解決するフィルタとして有望である。また、周波数の異なる共振子を複数個接続した阻止帯域の広い帯域阻止フィルタに Si ダイオードを接続した周波数可変阻止フィルタを開発し、これと前述の広帯域フィルタを組み合わせることによって、可変幅 28%の周波数可変フィルタを実証した。さらに、空洞不要な多層膜構造 SH 波を開発し、SH<sub>0</sub>モード板波以上の特性を得た。これらは、コグニティブ無線用フィルタとして有望であり、この成果は、その他の応用にも適用可能で、新しい通信システムへ応用されると考えられる。

### 【誌上发表リスト】

- [1]M. Kadota and S. Tanaka, "Ultra-Wideband Ladder Filter using SH<sub>0</sub> plate Wave in Thin LiNbO<sub>3</sub> Plate and its Application to Tunable Filter", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr. vol.62 No.5 pp. 939-946 (May 2015)
- [2]M. Kadota and S. Tanaka, "Simulation of solidity mounted plate wave resonator with wide bandwidth using 0-th shear horizontal mode in LiNbO<sub>3</sub> plate", Jpn. J. Appl. Phys. vol.54 07HD09-1-4 (June 2015)
- [3]M. Kadota and S. Tanaka, "Ultra-wideband ladder filters using zero-th shear mode plate wave in ultrathin LiNbO<sub>3</sub> plate with apodized interdigital transducers", Jpn. J. Appl. Phys. vol.55 07KD04-1-4 (June 2016)

### 【申請特許リスト】

- [1]門田、木村、田中、橋本、"弾性波装置"(特願 2014-51298)、日本、2014.3.14 出願、PCT 出願出願日 2015.2.17 (PCT/JP2015/054248)
- [2]門田、田中、"弾性波装置"(特願2014-196608)、日本、2014.9.26 出願、PCT 出願、出願日 2015.7.16 (PCT/JP2015/070408)
- [3]T. Kimura and M. Kadota, "Elastic wave device", (PCT/JP2013/063254)、アメリカ、2014.11.17 出願

### 【登録特許リスト】

- [1]門田、"弾性波装置"、日本、申請日:2011.8.8、登録日:2015.5.22、特許番号 5747987
- [2]門田、小林、小上、"チューナブルフィルタ"、日本、申請日:2013.8.17、登録日:2015.9.4、特許番号:5799990
- [3]門田、木村、田中、江刺、橋本、稲葉、"チューナブルフィルタ"、日本、申請日:2012.5.14、登録日:2015.10.2、特許番号:5816592