

# 弾性表面波デバイス\*

門田道雄 (株)村田製作所\*\*

43.38.Rh

## 1. ま え が き

弾性表面波 (SAW) を用いた電子部品は携帯電話等に欠かせないデバイスとして確固たる地位を確立している。代表的な SAW デバイスについて振り返る。

## 2. SAW デバイス

### 2.1 テレビ用フィルタ

1885年レイリー卿により SAW を代表するレイリー波が理論的に発見された。1964, 5年の E.K. Sitting, R.M. White, 山之内らによるインターデジタル型電極 (IDT) の発明やそれに続く 1971~75年 A.J. Devries によるテレビ (TV) 映像中間周波増幅回路 (VIF) 用トランスバーサル型 SAW フィルタの報告以来, 多くの研究機関, 企業により圧電セラミック (PZT) (1955, B. Jaffe),  $\text{LiNbO}_3$  (LN),  $\text{LiTaO}_3$  (LT) の単結晶 (1945, B.T. Mathis により育成), ZnO 薄膜 (1965, S. Wanuga) とガラスの組み合わせ等の TV 用 SAW フィルタの開発が始まり, 1980年頃から実用化された。ZnO 膜のフィルタの実用化では他社が撤退する中, 筆者は 11年間製造現場でねばり, 世界で唯一その実用化に成功した。

### 2.2 SAW 共振子

VTR が普及し始めた 1980年代の TV は映像と音声の入力端子を持たないため TV の 1チャンネル (ch) か 2ch で VTR を使用する方式が採用された。この共振子には温度特性の良好な ST·X 水晶 (人工水晶: 1845, C.E. Shafhautl, ST カット: 1970, M.B. Schulz) や  $X112^\circ Y$ ·LT 上の (1977, 平野) レイリー波が使用された。現在, 300~900 MHz の水晶 SAW 共振子が車のドアのキーやタイヤの

圧力監視用等に使用されている。

Bleustein-Gulyaev-Shimizu (BGS) 波 (1969, 上記 3名) は Shear Horizontal (SH) 成分のみを持つ。SH 波の素子端面での完全反射を利用すればグレーティング反射器の不要な小形な共振子を実現出来る (1979, 清水)。 $40^\circ YX$ ·LT の SH 波を用いた端面反射型共振子は 1984年実用化されたが, 低コストの PZT を用いた BGS 波共振子の実用化には高電圧での横方向への分極が困難など幾つかの大きな課題があった。1991年筆者らはそれらを解決し PZT を用いた超小形 (水晶の 1/50 の素子サイズ) な 40~60 MHz の BGS 波端面反射型共振子を TV や VTR の VIF 回路の補助トラップ用に開発・実用化したが, 実用化までには耐湿特性改善等に多くの時間を要した。

### 2.3 IF フィルタ

2重モード SAW (DMS) 横結合型 (1975, 清水) 及び縦結合型 (1986, 田中) 共振子フィルタはバルク波水晶基板の多重モードフィルタ (1962, 中沢) を SAW に応用したものである。コードレス電話, GPS, ETC, 携帯電話等用の IF フィルタは, 周波数が低く, トランスバーサル型 SAW に比べ小形な DMS フィルタを用いてもサイズが非常に大きかった。DMS フィルタは低挿入損失であるが, 帯域は基板の結合係数に依存するため広帯域化が困難であり, また超小形化を可能にする端面反射型 DMS はスプリアスが大きく実現困難とされていた。しかし, 筆者らは 2000年 IDT の対数比の最適化や表面にゲル状樹脂塗布等によるスプリアスの低減, 大きな結合係数を持つ PZT 基板の開発等により 15%の超広帯域が要求される ETC 向 40 MHz IF 用を BGS 波端面反射縦結合型 DMS で実現した。トランスバーサル型 SAW に比べ 1/5 に小形化されたパッケージサイズ, 7 dB 良好な挿入損失を実現した。市場占有率は 100%を実現している。携帯電話の中帯域 IF には ST·X 水晶のレイリー波

\* Surface acoustic wave devices.

\*\* Michio Kadota (Kadota Laboratory, Murata Mfg. Co., Ltd., Yasu, 520-2393) e-mail: kadota@murata.co.jp

のトランスバーサル型 SAW や  $36\text{--}42^\circ$  YX · LT の漏洩 SAW (LSAW) (LSAW の発見 : 1969, T.C. Lim,  $36^\circ$  YX · LT : 1977, 中村,  $42^\circ$  YX · LT : 1999, 橋本) の縦結合 DMS を用いて 1990 年代前半から実用化されてきた。しかし BGS 波端面反射を用いた横結合型 DMS フィルタは実現されていなかった。横結合する PZT 材料の開発により, 筆者らにより 1998 年, 52 MHz 米コードレス電話や欧州 25 MHz カーラジオ向小形 IF 用に実用化された。帯域が狭く良好な温度特性と低損失が要求される 70~400 MHz PDC や GSM 方式携帯電話等の IF 用には温度特性の良好な ST · X 水晶上のレイリー波を用いた横結合 DMS フィルタが 1991 年頃から実用化されていたが, 反射器のサイズが大きく小形の要求が強かった。Ta 電極を ST $90^\circ$  X · 水晶基板上に形成した SH 型ラブ波 likeLSAW は従来の 35 倍の大きな反射係数を持つ。そのためグレーティング反射器の本数を 1/35 にした超小形 (パッケージサイズは従来の 1/5) 縦結合型 DMS フィルタが 130~360 MHz の携帯電話 IF フィルタ用に筆者らにより 1999 年開発されたが, Ta 電極による音速ばらつきが Al 電極の 30 倍あり, 辞表片手に実用化に取り組み, Ta 膜厚  $\pm 0.14$  nm の制御を可能にし, 2001 年その実用化に成功した。

## 2.4 RF フィルタ

携帯電話等の RF フィルタは一般に IF フィルタに比べて周波数が高いためサイズは IF フィルタに比べ小さい。必要とされる帯域に適した  $40\text{--}70^\circ$  YX · LN (1972, 山之内) や  $36\text{--}42^\circ$  YX · LT の LSAW, ZnO 膜/サファイアのセザワ波 (1935, 妹沢) を用いたトランスバーサル型多電極構造, 縦結合 DMS 等からなる RF フィルタが 1980 年後半から実用化された。従来の RF フィルタは, 素子表面に空洞を必要としたため, 小形化に限界があった。低音速媒体が高音速媒体ではさまれた SiO<sub>2</sub>/Au 電極/YX · LN 基板構造の SH 型境界波にて GSM 用 Rx 用 RF フィルタを 2005 年に実用化した。外装が不要なので超小形であるが, 細かい周波数調整は境界波固有の今後の課題である

## 2.5 デュプレクサ

自動車電話, 携帯電話の初期の頃は, 誘電体から成るデュプレクサが使用されていた。そのサイ

ズは  $29 \times 14 \times 4 \sim 13 \times 11 \times 3.6$  mm<sup>3</sup> と大きく, 小形化の要求が強かった。1998 年頃から SAW を用いたラダー型デュプレクサが主に検討されたが (ラダー型は古くから知られており, PZT バルク波では 1959, D.R. Curran, SAW では 1974, S.C.C. Tseng の報告), 周波数の混雑や省エネの観点から温度変化に対し周波数変動の少ないことや挿入損失の劣化がないことが要求される。基板と反対のプラスの温度係数を持つ SiO<sub>2</sub> 膜を成膜することにより温度特性が改善される (LN, LT のレイリー波 : 1974, 5, T.E. Parker, LT の LSAW : 1977, 岩橋)。しかし, 大きな反射係数を得るために厚い Al 電極が用いられたラダー型フィルタでは単に Al 電極/基板上に SiO<sub>2</sub> を成膜するだけでは良好な特性が得られず, 筆者らは平坦化 SiO<sub>2</sub>/高密度電極/圧電基板を採用した。周波数変動の少ないことが要求される米 PCS 用には圧電基板として  $36\text{--}48^\circ$  YX · LT の減衰のない LSAW を, 挿入損失の劣化の少ないことが望ましく広帯域な W-CDMA 用には結合係数の大きな YX · LN のラブ波 (1960, A.E. Love) を用いた。YX · LN に高密度電極を形成することにより LSAW は減衰のないラブ波 (1986, 清水) に変換される。当初オリンピックのメダル順に Au, Ag, Cu を検討したが信頼性試験の結果から最終的に Cu 電極を採用した。SiO<sub>2</sub> 膜の表面平坦化は Q 向上のため, Cu 電極はラブ波化と適度な反射係数を得るためである。SiO<sub>2</sub> 成膜時の Cu の拡散防止や耐電力対策には苦労したが 2003 年実用化に成功した。サイズは  $2.5 \times 2.0 \times 0.48$  mm<sup>3</sup> と非常に小形である。

## 3. 結 び

SAW デバイスの歴史について述べた。紙面の都合上 1969 年 Smith の IDT の等価回路 (1948, Mason の等価回路から発展) などを記せなかった。

## 文 献

- [1] 門田道雄, “実用化された弾性表面波デバイスと今後の動向,” 信学会誌, 91, 41-48 (2008).
- [2] 柴山乾夫監修, 電子通信学会編, 弾性表面波工学 (コロナ社, 東京, 1983).
- [3] 日本学術振興会弾性波素子技術第 150 委員会編, 弾性波素子技術ハンドブック (オーム社, 東京, 1991).
- [4] 日本学術振興会弾性波素子技術第 150 委員会編, 弾性波デバイス技術 (オーム社, 東京, 2004).