

# 高周波用小型・低損失の弾性表面波フィルタ(SAW)

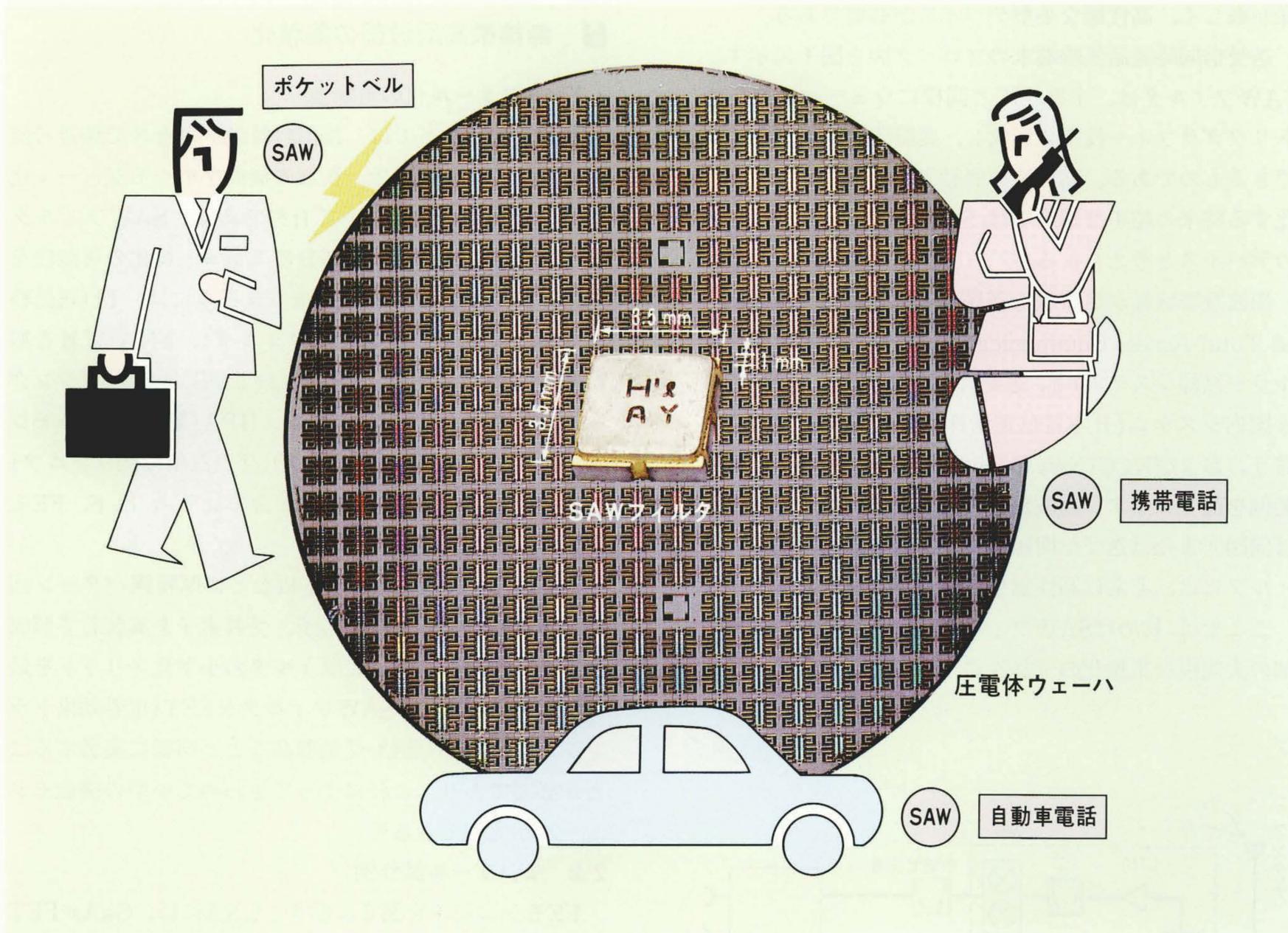
Radio-Frequency, Miniature SAW Filters with Low Loss

疋田光孝\* Mitsutaka Hikita

湯原章綱\*\* Akitsuna Yuhara

小田幸司\*\*\* Kôji Oda

小林喬雄\*\*\* Takao Kobayashi



注：略語説明 SAW (Surface Acoustic Wave ; 弾性表面波)

SAWフィルタの応用 SAWフィルタは従来の誘電体フィルタの約 $\frac{1}{10}$ の大きさであり、移動無線端末の小型化に大きく寄与する。

移動無線は社会のニーズに対応し、自動車電話(セルラー無線)、ポケットベル、コードレス電話など種々の形態で目覚ましい発展を遂げているが、最大の課題は無線機端末の小型化である。SAW (Surface Acoustic Wave : 弾性表面波)は、波長が同一周波数で電磁波の $\frac{1}{100,000}$ ときわめて短く、この技術によって誘電体フィルタや発振回路用共振器などの立体回路を半導体と同様にIC化できる。

SAWフィルタの導入により、無線機の高周波部を

大規模に集積化できることを示した。最大の課題である損失特性に関しては、新構造フィルタを提案し誘電体フィルタと比べてそんな色のない試作結果を得た。さらに量産性を考慮した新プロセス技術を検討し、約2.5 GHz帯まで対応できる微細電極形成法を確認した。また、超小型面実装パッケージを開発して、無線機小型化に貢献する新シリーズのSAWフィルタを製品化した。

\* 日立製作所 中央研究所 工学博士 \*\* 日立製作所 映像メディア研究所 \*\*\* 日立製作所 AV機器事業部

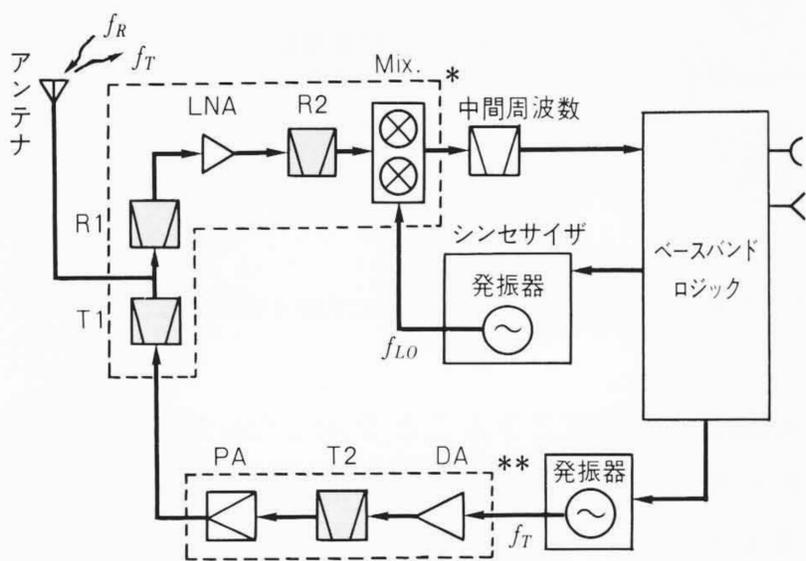
## 1 はじめに

端末の小型化は、移動無線にとって最大の課題である。特にセルラー無線(ポータブル電話, ポケットブル電話)では、公衆回線に直接接続するためデバイスに対する仕様が厳しく、高性能な小型デバイスが必要である。

送受信同時通話無線端末のブロック図を図1に示す。SAWフィルタは、半導体ICと同様にウェーハ表面のホトリソグラフィ技術で形成し、高周波フィルタをIC化できるものである。高周波の能動素子と受動素子を一体化する将来の超小型端末では、SAWデバイスは必須(す)のデバイスと考えられる。

周波数帯域幅が広帯域な英国などのETACS(Extended Total Access Communication System: 超広帯域セルラー無線システム)と、送受信周波数が欧米とは逆である国内システム[日本電信電話株式会社(以下、NTTと言う。)およびNCC(New Common Carrier)]の周波数配置例を図2に示す。周波数帯域幅が広いシステム、例えば同図(a)または送受信間隔の狭いシステム用の高周波フィルタには、非常に高性能な特性が要求される。

ここでは、初めにSAWフィルタをベースにした高周波部の大規模な集積化の可能性について述べ、次に、誘電



\* : フロントエンドモジュール  
 \*\* : HPA (電力増幅器)モジュール

注: 略語説明  $f_T$  (送信周波数) LNA (Low Noise Amp.)  
 $f_R$  (受信周波数) PA (Power Amp.)  
 $f_{Lo}$  (局部発振周波数) DA (Driver Amp.)  
 R1 (受信初段フィルタ) HPA (High Power Amp.)  
 R2 (受信段間フィルタ) Mix. (ミキサ)  
 T1 (送信終段フィルタ)  
 T2 (送信段間フィルタ)

図1 送受同時通話無線機ブロック図 破線部分の高周波モジュール化が可能である。

体フィルタとそん色のない損失特性を得た新構造フィルタに関して説明する。また、ギガヘルツ帯用に、微細電極指を量産性よく形成できる新プロセスの検討結果、および超小型パッケージに実装した無線機用SAWフィルタの新製品についても述べる。

## 2 無線機高周波部の集積化

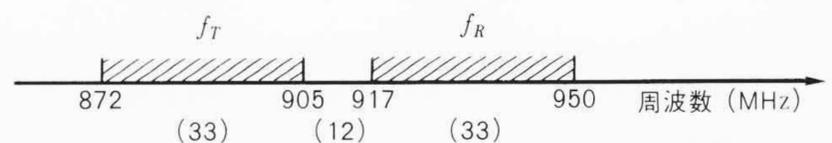
### 2.1 モジュール化の可能性

移動無線機などでは、類似の量産プロセスで製造可能なデバイスについては、複数の機能を単一モジュール化することが小型化にとって有利である。SAWフィルタを用い、図1に示す破線部分のモジュール化の可能性を示す。FE(フロントエンド)モジュールには、T1(送信終段フィルタ), R1(受信初段フィルタ), LNA(低雑音増幅器), R2(受信段間フィルタ)およびS.B.Mix.(シングルバランスミキサ)が含まれる。HPA(電力増幅器)モジュールには、PA(パワーアンプ), T2(送信段間フィルタ)およびDA(ドライバアンプ)が含まれる<sup>1)</sup>。以下、FEモジュールに関して述べる。

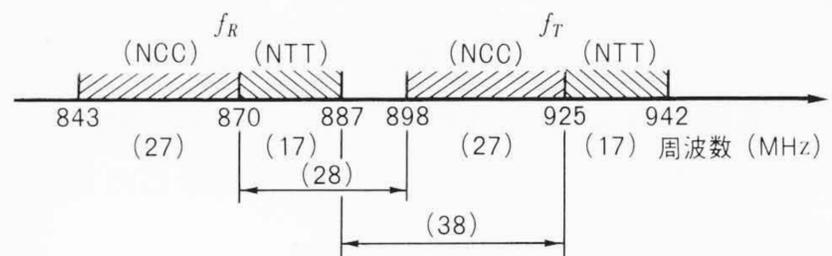
LNA, Mix.はアルミナ基板などに厚膜銅パターン回路を印刷し、さらに能動素子, 受動素子を実装して形成する。したがって、SAWフィルタの小型化メリットを最大限に生かすには、SAWフィルタをFET(電界効果トランジスタ)や他の能動, 受動部品などと同様に実装することが必要であり、これによってきわめて小型の機能モジュールが実現できる<sup>2)</sup>。

### 2.2 モジュール試作例

FEモジュールを図3に示す。LNAには、GaAs-FETを用い、Mix.は二次ひずみによるスプリアス感度を低減

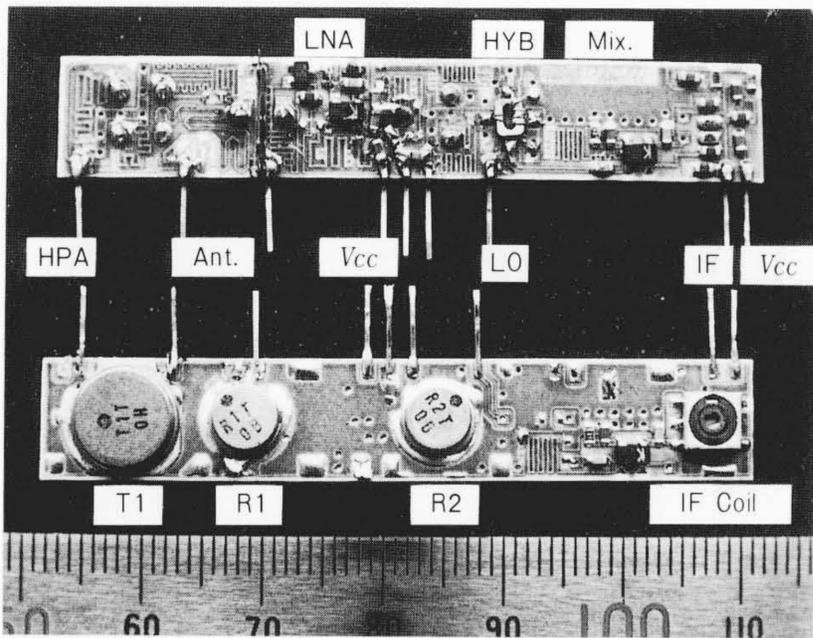


(a) 英国ほかのETACS (Extended Total Access Communication System) 超広帯域システム



(b) 国内 (NTTとNCC: New Common Carrier)システム

図2 セルラー無線システムの周波数配置例 国内システムは、欧米とは送受信の周波数配置が逆である。



注：略語説明 HYB(ハイブリッド), Ant.(アンテナ), LO(局部発振) IF Coil(中間周波コイル)

図3 SAWフロントエンドモジュール SAWフィルタ[T1(送信終段フィルタ), R1(受信初段フィルタ), R2(受信段間フィルタ)], LNA(低雑音増幅器), S.B.Mix.(シングルバランスミキサ)を含んでいる。

して、中間周波数 $f_{IF}$ を比較的低く設定できる(例えば45 MHz)GaAs-FET 2石のシングルバランス型とした。このモジュールのフィルタ部の周波数特性を図4に示す。送信系は、HPA出力端子とアンテナ端子間で、受信系はアンテナ端子とR2の後段のモニタ端子間で評価した結果である。同図に示す特性は、HPAモジュール内のT2との総合特性で図2(a)のETACS仕様を満足する。

最近LNA, Mix.のMMIC(モノリシックIC)化も検

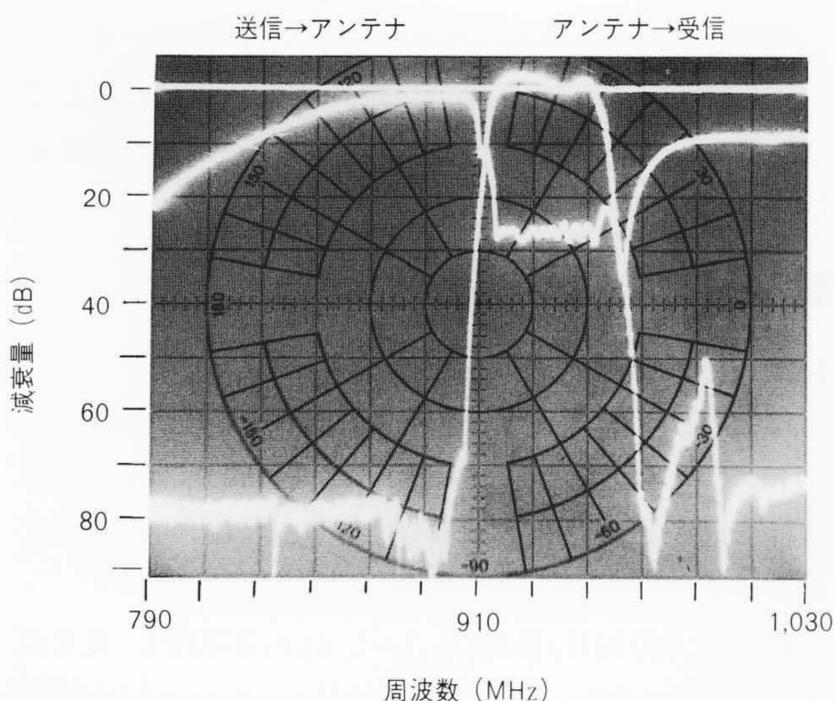


図4 SAWフロントエンドモジュールの周波数特性 HPA(電力増幅器)出力端子とアンテナ端子間およびアンテナ端子とR2後段のモニタ端子間の特性を示す。周波数特性はETACS(Extended Total Access Communication System)仕様を想定している。

討されている。将来は、SAWフィルタチップを上記MMICとともにチップ直接実装した高周波部の大規模な集積化が考えられる。図3のモジュールや図4の特性は、上記の基本概念を特性および実装面から検討して、その可能性を示したものである。

### 3 SAWフィルタの高性能化技術

SAWフィルタを無線機、特に送信終段と受信初段フィルタ(T1, R1)すなわち分波器として導入するには、損失の低減とワットオーダの送信電力に対する耐電力性の向上が最大の課題である。一般に、2.2で述べたFEモジュールのように複数の機能を単一化すると、個々のデバイスの性能向上がいっそう重要となる。

#### 3.1 SAW共振器を組み合わせた新構造フィルタ

多数の電極指から成るIDT(Interdigital Transducer)は、前進波と後進波の相互作用によって全体が1個の広帯域共振器となる[図5(a)]。同図(b)のラダー型回路の直列腕、並列腕を、同図(a)の共振器を基本とする回路素子で構成する新構造フィルタを提案し、「拡張型のSAW共振器結合型フィルタ」と名づけた<sup>3)</sup>。1個ないし2個の圧電基板上に形成した共振器またはギャップ容量などをボンディングで結び付け、ボンディングワイヤのインダクタンス等も積極的に利用してフィルタ特性を実現する。

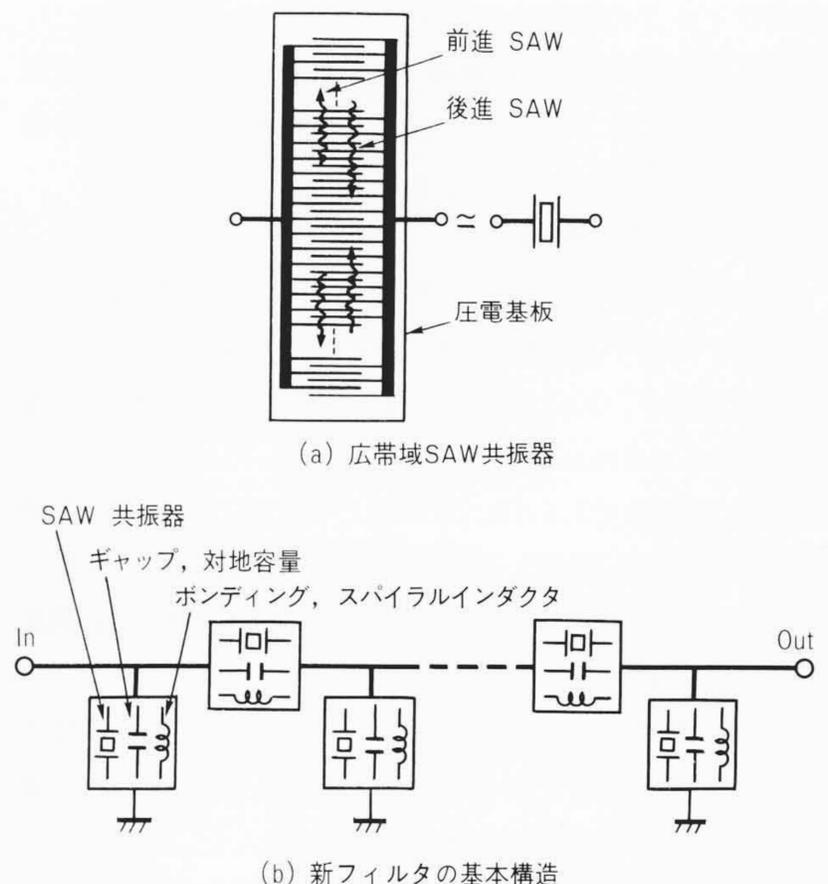


図5 拡張形のSAW共振器結合型フィルタ 1個または2個のSAWチップ上に形成した多数のSAW共振器をベースに、ラダー型回路のフィルタを構成する。

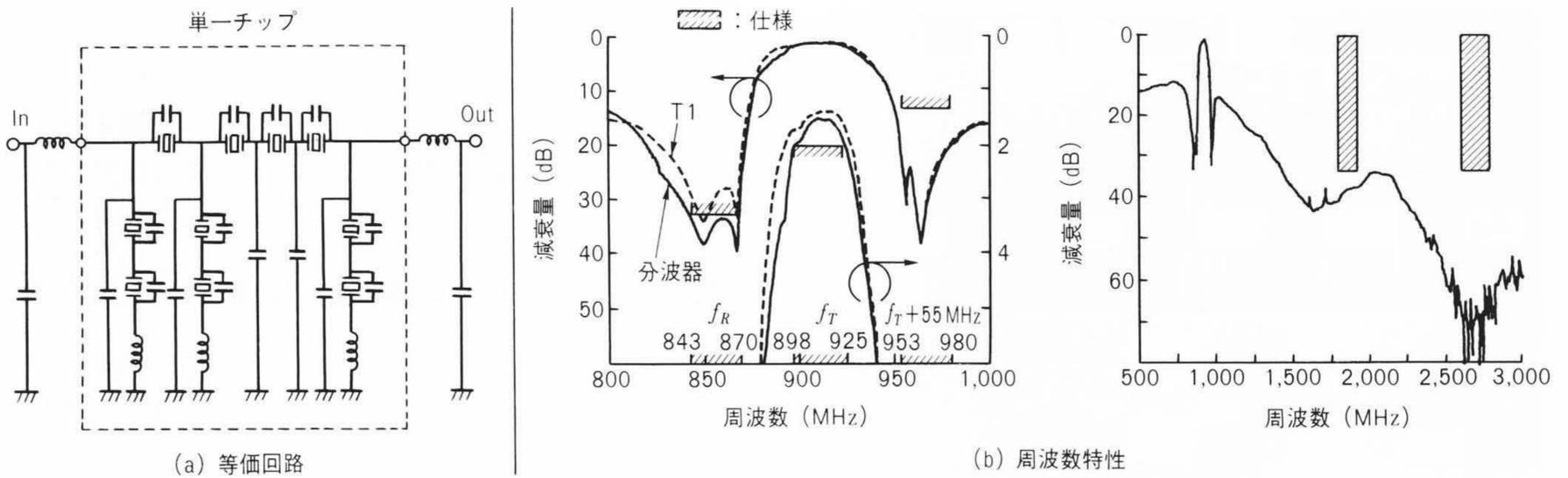


図6 国内NCC対応送信終段フィルタ(T1) ラダー型回路の直列腕, 並列腕ともにSAW共振器を導入し,  $f_R$ ,  $f_T + 55$  MHzの減衰量を確保している。

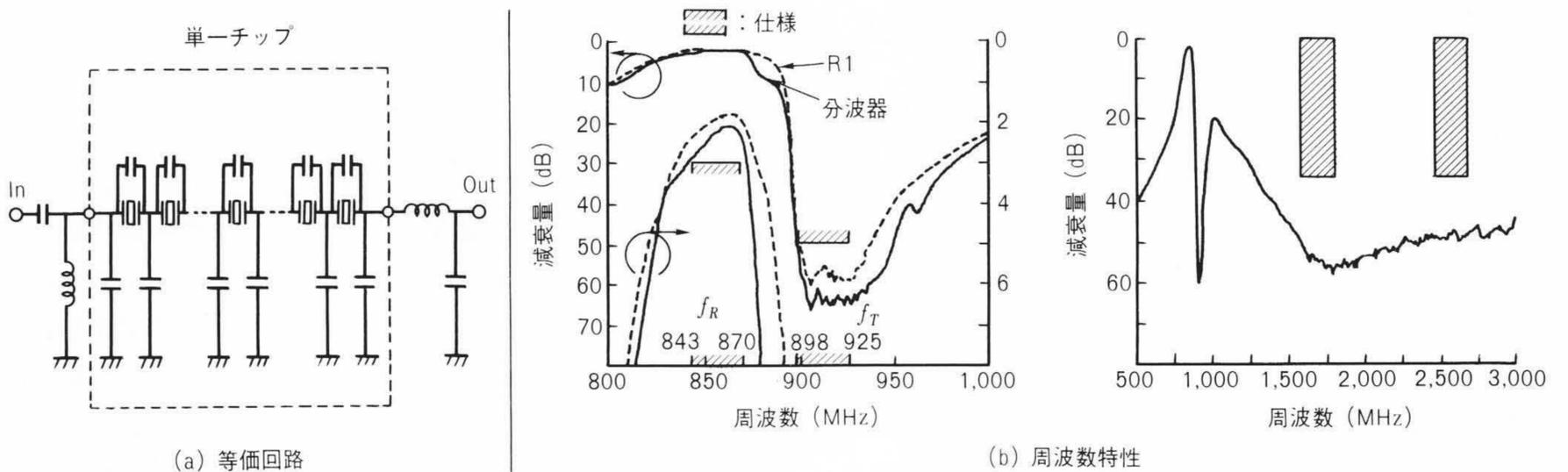


図7 国内NCC対応受信初段フィルタ(R1) 直列腕に導入したSAW共振器と対地容量を利用し,  $f_T$ で高い減衰量を確保している。

このフィルタの特徴は、従来のSAWフィルタと異なり、電気とSAWの間の変換過程, 逆変換過程を経ずに周波数特性を実現することにより、耐電力性の向上と損失の抜本的改善を図っていることである。

### 3.2 フィルタ試作例

図2(b)の国内NCCシステムを想定した試作結果を図6, 7に示す。図6はT1, 図7はR1である。両図の(a)に等価回路を, (b)に周波数特性を示す。T1は10個の共振器を約 $2.5 \times 3$  mm<sup>2</sup>のチップ上に形成した。同図(b)から、損失はT1単体で1.6 dB, 分波器としては1.9 dB(R1との並列接続で0.3 dB増), 減衰量は $f_R$ で34 dB, 2, 3倍のハーモニックで35 dB以上を確保し, NCCの仕様を満足することがわかる。

R1は, 1W前後の送信電力の受信系への回り込みによる感度劣化を防ぐため,  $f_T$ で50 dB以上の減衰量が必要である。SAW共振器を多数直列腕に導入し, 対地容量を利用して高い減衰量を実現した。損失はR1単体で2.4 dB, 分波器としては2.8 dB(T1との並列接続で0.4 dB増加), 減衰量は $f_T$ で55 dB程度, 2, 3倍のハーモニック

で35 dB以上を確保し, NCCの仕様を満足する。

上記の特性は、従来の誘電体フィルタとほぼ同等であり、耐電力性も数ワットの通過電力まで確認している。この構造は、2章で述べた高周波部の無調整単一モジュール化, 将来の1.5~2.0 GHz帯フィルタなどに対しては、損失の低減, 耐電力特性の向上などの観点から必須(す)と考える。

## 4 SAWフィルタの高周波化技術

### 4.1 新微細電極加工法

移動無線では、現在の900 MHz帯から近い将来1.5 GHz帯, 1.9 GHz帯が予想される。SAWフィルタには性能の向上と新しい微細電極加工技術の開発が必要である<sup>4), 5)</sup>。

最近では, 900 MHz帯用の $1.1 \sim 1.2$   $\mu\text{m}$ 電極指も, 従来の密着露光法に代わって, 縮小露光法( $\frac{1}{5}$ または $\frac{1}{10}$ )が採用されている。しかし, 単なる縮小露光法では $0.6$   $\mu\text{m}$ 程度の電極指形成が限界である。

電極指の周期性に着目し, ホトマスク通過光(i線)の位

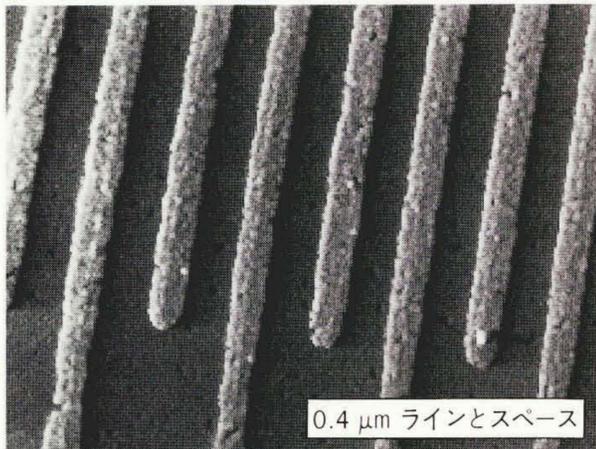


図8 ギガヘルツ帯SAWフィルタ用トランスジューサ試作結果 Al電極指幅, スペースともに0.4 μmである。2.5 GHz帯SAWフィルタに対応する。

相を変化させる新しい縮小露光法を検討した。この手法によって形成した0.4 μm幅Al電極指の例を図8に示す。約2.5 GHz帯SAWフィルタに対応し、電極エッジ部などは低周波帯と変わらない形状が得られた。以上、量産性を考慮した高周波フィルタ用微細電極形成法に関してもその可能性を確認した<sup>4)</sup>。

#### 4.2 ギガヘルツ帯SAWフィルタ試作例

1.9 GHz帯SAWフィルタの試作結果を図9に示す。損失は4.5 dB, 減衰量は約35 dBの特性が得られた。今後さらに損失の改善, 減衰量の拡大, 耐電力性の向上などが必要であるが, 1~2 GHz帯無線機にもSAWフィルタが十分適用できることを示している。

### 5 パッケージの小型面実装化と無線機用SAWフィルタ

#### 5.1 超小型面実装パッケージ

2章のFEモジュールでは, SAWフィルタを金属かんパッケージに実装したが, 小型面実装パッケージの開発やチップ直接実装の検討が必要である。セルラー無線, ポケットベル, コードレス電話などではより小型で薄く軽量の形態が強く求められている。面実装タイプで従来に比べていっそう小型化したパッケージを開発した。

超小型面実装パッケージ(SMD-SS)(図10)は, 0.7~2 GHz帯無線機用で3.5 mm角, 高さ1.0 mmである。比較のため, 日立製作所の従来のかんタイプと面実装タイプも合わせて示す。SMD-SSは従来品に比べて体積で $\frac{1}{4}$ , 面積で $\frac{1}{2}$ の小型化を実現した。無線機端末のいっそうの小型・軽量化に貢献するものである。

#### 5.2 移動無線機用SAWフィルタ

超小型パッケージに実装し, セルラー無線, ポケット

ベル, コードレス電話の新しい動向に対応した新シリーズのSAWフィルタを製品化した。以下, 代表例について説明する。

米国930 MHz帯ポケットベル用のSAWフィルタ(HWCE601)の特性を図11に示す。中心周波数930 MHz, 帯域幅4 MHz以上, 損失5 dB, 帯域外減衰量50 dB, 50 Ω純抵抗終端の特性を持ち, SMD-SSパッケージに収めて小型化を実現した。

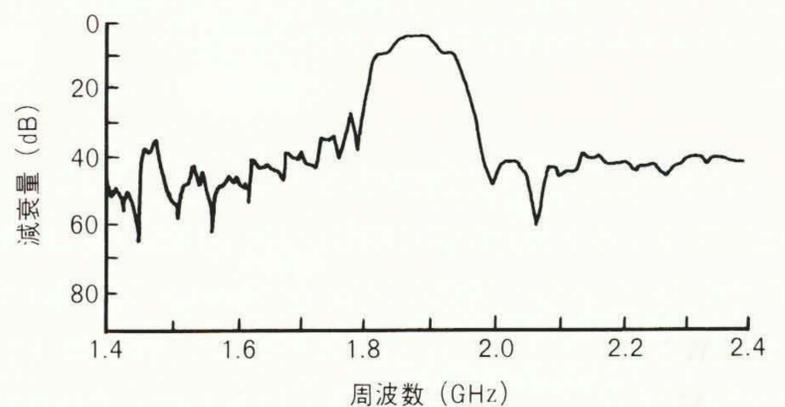


図9 1.9 GHz帯試作SAWフィルタの特性 損失4.5 dB, 帯域外減衰量35 dB以上の特性で, 入出力50 Ω純抵抗終端が可能である。



注: 上段(左からTo-47, F-11, To-39)  
下段(左からSMD-SS, SMD-S, SMD-M)

図10 SAWフィルタ 現在, 移動無線機用に製品化しているSAWフィルタを示す。下段左側が今回開発の超小形パッケージである。

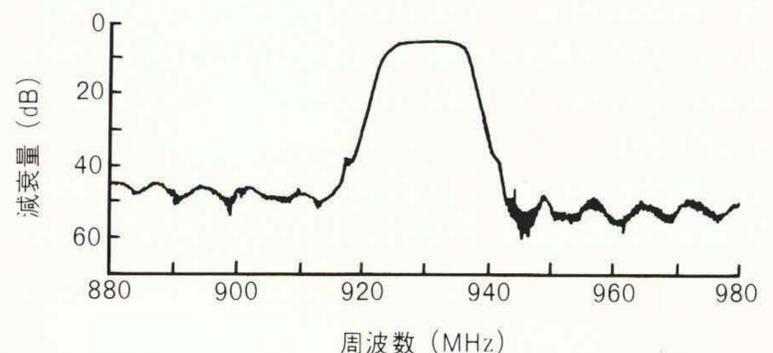
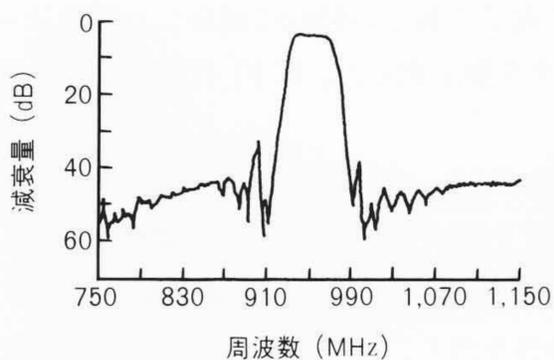
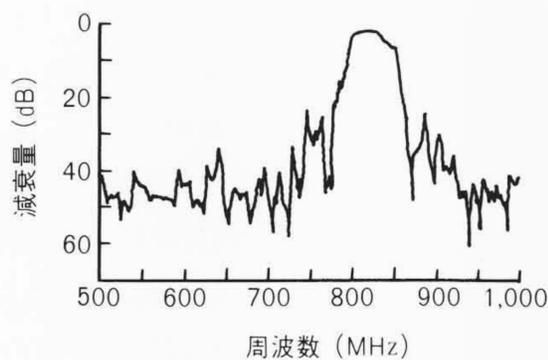


図11 米国930 MHz帯ポケットベル用SAWフィルタ(HWCE601)の特性 国内・海外向けポケットベル用SAWフィルタの代表例を示す。入出力50 Ω純抵抗終端で使用できる。



(a) 欧州GSM用SAWフィルタ(HWCB203)の特性 T2(送信段間フィルタ)として使用



(b) 国内JDC用SAWフィルタ(HWCB051)の特性 R2(受信段間フィルタ)として使用

図12 デジタルセルラー無線用SAWフィルタの特性例 代表例として、欧州と国内のデジタルセルラー向けSAWフィルタの特性を示す。

セルラー無線の次期動向であるデジタル化に対応したSAWフィルタの代表例を図12に示す。同図(a)は、欧州デジタルセルラー(GSM: Group Special Mobile)用のSAWフィルタ(HWCB203)の特性で、中心周波数947.5 MHz、帯域幅25 MHz以上、損失4 dB、帯域外減衰量50 dBの値を持つ。また同図(b)は、国内デジタルセルラー(JDC: Japan Digital Cellular)用のSAWフィルタ(HWCB051)の特性で、中心周波数820 MHz、帯域幅20 MHz以上、損失2.5 dB、帯域外減衰量40 dB、50 Ω純抵抗終端の特性を持ち、同図(a)、(b)ともにSMD-SSパッケージに収めた。

欧州コードレス電話(CT1+: Cordless Telephone)用のSAWフィルタ(HWCG211)の特性を図13に示す。中心周波数931 MHz、帯域幅4 MHz以上、損失3 dB、帯域外減衰量60 dB、50 Ω純抵抗終端の特性を持ち、小型・高

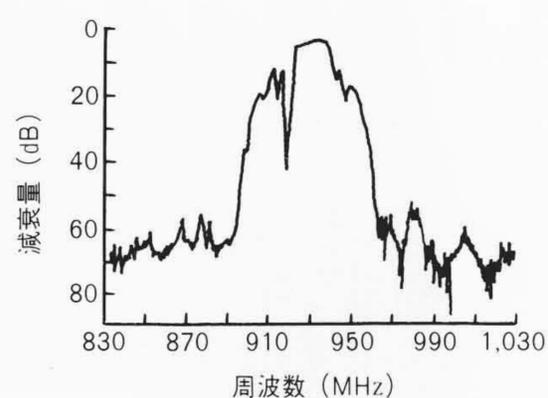


図13 900 MHz帯コードレス電話用SAWフィルタ(HWCG211)の特性 国内・海外向けコードレス電話用SAWフィルタの代表例(欧州コードレス電話CT1+: Cordless Telephone)を示す。

性能化を実現した。

## 6 おわりに

SAWは集積化が困難なフィルタなどの受動素子を半導体IC同様のプロセス技術によって実現できるものである。今回、SAWフィルタをベースに高周波部の大規模な集積化の可能性を示した。新構造フィルタの提案により、従来の誘電体フィルタと遜色のない試作結果を得た。将来の1~2 GHz帯フィルタには、新プロセス技術を検討し、性能面でも実用化が可能であることを明らかにした。超小型面実装パッケージは、小型無線機のフィルタ用として製品化した。ここで述べたことは、システムの動向に整合するものであり、SAW技術が今後も広く移動無線に貢献することを示している。

## 参考文献

- 1) 桑本, 外: セルラー携帯電話機, 日立評論, 72, 9, 889~894(平2-9)
- 2) M. Hikita, et al.: New High-performance and Low-Loss SAW Filters used in Ultra-wideband Cellular Radio Systems, in IEEE Ultrasonics Symp. Proc., p.225(1991)
- 3) M. Hikita, et al.: Extended New-type SAW-Resonator-coupled Filters used in Duplexer for Japanese Cellular Radio, Electron. Lett., Vol.28, p.2057(1992)
- 4) 浅井, 外: 高周波SAWデバイス用サブマイクロプロセスの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, US92-7(平4)
- 5) A. Yuhara, et al.: Al Electrodes Fabrication Technology for High-frequency and High-power Durable SAW Devices, in IEEE Ultrasonics Symp. Proc., p.493(1990)