ユニプレーナ線路を用いたマイクロ波共振器・フィルタ

正員 和田 光司* 非会員 神山 智英*

正員 橋本 修*

Microwave Resonators and Filters Using Uniplanar Lines

Kouji Wada*, Member, Tomohide Kamiyama*, Non-member, Osamu Hashimoto*, Member

This paper presents microwave resonators and filters fabricated with uniplanar lines such as a coplanar waveguide(CPW) and slot line(SL). We focus on an open-ended $\lambda/2$ resonator, short-ended $\lambda/2$ resonator and $\lambda/4$ resonator for fabricating the bandpass filters(BPFs). Various BPFs based on these resonators are presented and their characteristics are also discussed.

キーワード：ユニプレーナ線路, 共振器, フィルタ, 高調波共振改善, 小型化

Keywords: Uniplanar Line, Resonator, Filter, Improvement of Spurious Responses, Size Reduction

1. まえがき

マイクロ波・ミリ波共振器およびフィルタは、ワイヤレス通信機器において送受信には欠くことのできない受動回路部品である^{(1)~(5)}。それらに関する研究、開発の歴史は古いが今もなお技術の発展は留まることを知らない。現在は、低温同時焼成セラミックス (Low Temperature Co-fired Ceramics:LTCC) 技術を用いた積層フィルタ等を中心に研究、開発が行なわれている⁽⁶⁾。また、業界ではモノリシックマイクロ波集積回路 (Monolithic Microwave Integrated Circuit:MMIC)、マイクロ波・ミリ波モジュールや高温超伝導 (High Temperature Superconductor:HTS) 回路の研究、開発が脚光を浴びている。前者の2つの場合、用いる素子や伝送線路の平面化は多少の損失を犠牲にしても必要であり、後者の場合、回路パターンを超伝導膜を用いて基板上の一平面で構成する場合が多く、マイクロ波・ミリ波共振器およびフィルタにおいては平面化対応が一つの鍵になると考えられている。たとえば、それらの要求に対して、コプレーナ線路 (Coplanar Waveguide:CPW)⁽⁷⁾やスロット線路 (Slot Line:SL)⁽⁸⁾等に代表される線路パターンを基板上の一平面で構成可能なユニプレーナ線路が注目されており、共振器やフィルタへの適用について検討が行われてきた。しかし期待されながらもユニプレーナ線路を用いたマイクロ波・ミリ波共振器およびフィルタの実用化に関しては、未だ発展途上状態にあり今後の動向が注目される。

本解説では、ユニプレーナ線路を用いたマイクロ波共振器・フィルタに着目し、その中で使用頻度の高いと考えられる分布定数線路型共振器を用いた各種帯域通過フィルタ (Bandpass Filter:BPF) をとりあげ紹介する。

2. ユニプレーナ線路共振器 BPF

ユニプレーナ線路共振器 BPF を設計および実現する際、用いる共振器の特徴や基本性能を熟知しておくことは重要であり、さらに、仕様に応じて共振器を選択することは、フィルタ特性改善をはじめとする応用技術に非常に有用である。現状では、ユニプレーナ線路共振器 BPF において、用いる分布定数線路型共振器は、(1) 両端開放型 $\lambda/2$ 共振器、(2) 両端接地型 $\lambda/2$ 共振器および (3) 一端接地型 $\lambda/4$ 共振器が選択される場合が多い。

本章では、上記の共振器についてその種類を述べ、さらにそれらを用いた各種 BPF について紹介する。

2.1 両端開放型 $\lambda/2$ 共振器 BPF 両端開放型 $\lambda/2$ 共振器 BPF をユニプレーナ線路で構成する場合、SL よりも CPW が用いられる場合が多いことから、ここでは CPW を用いた両端開放型 $\lambda/2$ 共振器 BPF について述べる。

図1に両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器の各種構成を示す。図1(a)は、両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器の基本型であり、長さが $\lambda/2$ の伝送線路とその両終端は開放構造で構成されている。共振器の終端については、縁端効果や無負荷 $Q(Q_0)$ の劣化を抑えるため中心導体と接地導体の間に間隔を持たせている。図1(b)は、素子装荷型共振器のうち集中定数素子型を、図1(c)は、分布定数素子装荷型をそれぞれ示している。これらの共振器は、集中定数素子、分布定数素子を伝送線路の両終端に装荷しその線路長を短縮することで高

* 青山学院大学

〒229-8558 神奈川県相模原市淵野辺 5-10-1

Aoyama Gakuin University

5-10-1 Fuchinobe, Sagami-hara-shi, Kanagawa 229-8558

図1 各種両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器

Fig. 1. Various open-ended $\lambda/2$ CPW resonators.

図2 両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF

Fig. 2. BPFs using open-ended $\lambda/2$ CPW resonators.

図3 図2(a)のフィルタ特性

Fig. 3. Filter responses of the BPF shown in Fig. 2(a).

調波共振の改善および小型化が可能となる。

次に図1の各共振器を用いたBPFについて述べる。図2(a)に図1(a)の共振器を2段構成にした終端容量結合型共振器BPFを示し、そのフィルタ特性を図3に示す^{(9)~(11)}。図3より、通過帯域付近は無極特性であり中心周波数のほぼ整数倍に高調波共振が出現していることが確認できる。

図4 図2(b)のフィルタ特性

Fig. 4. Filter responses of the BPF shown in Fig. 2(b).

図5 タップ結合を用いた両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF

Fig. 5. BPFs using tapped open-ended $\lambda/2$ CPW resonators.

しかしながら、図2(b)に示すように共振器の入出力部にタップ結合を適用することで図4のように通過帯域付近の両側に減衰極が実現可能である^{(12) (13)}。タップ結合には、(1) 基本タップ結合⁽¹⁴⁾、(2) 素子装荷型タップ結合(集中定数素子装荷型、分布定数素子装荷型)⁽¹⁵⁾が提案されており、共振器の外部 $Q(Q_e)$ の調整以外に減衰極の実現およびその配置位置の制御が可能であることが報告されている。この減衰極の実現は、共振器の入出力結合位置から各共振器の開放端を見た入力インピーダンスが零となる周波数を通過帯域付近への設定によるものである。したがって、この入出力結合位置を選択することで図4以外に通過帯域付近の低域側、高域側および両側に減衰極の実現が可能になる。さらに、図5(a)のように共振器間もタップ結合により構成することで多極特性の実現が可能となり、また、図5(b)のように共振器の多段化により、図6に示すようにさらに多くの減衰極を実現できることが報告されている⁽¹⁶⁾。

両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF の高調波共振改善および小型化については、BPF の構成に図1(b) や (c) の共振器が用いられる。図7に図1(b)を用いた集中定数素子装荷型共振器BPFを、図8にそのフィルタ特性をそれ

図6 図5(b)のフィルタ特性

Fig.6. Filter responses of the BPF shown in Fig. 5(b).

図7 集中定数素子装荷型共振器を用いた両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF

Fig.7. BPF using lumped-element loaded $\lambda/2$ CPW resonators.

図8 図7のフィルタ特性

Fig.8. Filter responses of the BPF shown in Fig. 7.

それぞれ示す⁽¹⁷⁾。結果より、図7の回路構成により広帯域にわたり高調波共振が改善されていることが確認できる。また、図1(c)を用いた分布定数素子装荷型共振器 BPF が提案されており、それはインピーダンスステップ型共振器 (Stepped Impedance Resonator:SIR)BPF として周知されている⁽¹⁸⁾。一例として分布定数素子装荷型共振器を用いた多極特性を有する BPF を図9に、その特性を図10にそれぞれ示す。図9の構成により小型化と図10に示すように通過帯域付近への多極特性を同時に実現できることが報告されている⁽¹⁹⁾。

図9 分布定数素子装荷型共振器を用いた両端開放型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF

Fig.9. BPF using distributed-element loaded $\lambda/2$ CPW resonators.

図10 図9のフィルタ特性

Fig.10. Filter responses of the BPF shown in Fig. 9.

2.2 両端接地型 $\lambda/2$ 共振器 BPF ユニプレーナ線路は、接地をスルーホールなしで構成できることから、両端接地型 $\lambda/2$ 共振器のように接地を有する共振器を構成しやすい。したがって、両端接地型 $\lambda/2$ 共振器 BPF をユニプレーナ線路で実現する際、その特徴を活かすことができる CPW と SL の両方が用いられる。

図11に両端接地型 $\lambda/2$ CPW・SL 共振器の各種構成を示す。図11(a)は、両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器の基本型であり、長さが $\lambda/2$ の伝送線路において、両終端が接地になるように、中心導体と接地導体は接続されている。図11(b)は、素子装荷型 CPW 共振器のうち集中定数素子装荷型を、図11(c)および(d)は、分布定数素子装荷型をそれぞれ示している。図11(c)は CPW 共振器の中央に先端開放スタブを装荷した構造で、図11(d)は、図1(c)同様 SIR 構造を適用した構成となっている⁽²⁰⁾。また、両端接地型 $\lambda/2$ 共振器を SL で構成すると図11(e)の共振器構造となる。

両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF の基本型については、たとえば図12(a),(b)および(c)の構成についてそれぞれ検討されている。図12(a)は、一様な特性インピーダンスの CPW に、エアブリッジの配置により入出力および共振器間の終端誘導結合を実現し、エアブリッジ間の伝送線路

図 11 各種両端接地型 $\lambda/2$ CPW・SL 共振器

Fig. 11. Various short-ended $\lambda/2$ CPW・SL resonators.

図 12 両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF

Fig. 12. BPFs using short-ended $\lambda/2$ CPW resonators.

区間が両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器として働いている。図 12(b) は、入出力および共振器間結合を線路パターンによる終端誘導結合で構成されており⁽²¹⁾、図 12(c) は、入出力結合をタップ結合で、また共振器間結合を終端誘導結合で構成した回路である。一例として図 13 に図 12(a) の特性を示す。結果より、図 3 の結果と同様で中心周波数のほぼ整数倍に高調波共振の出現が確認できる。図 12(b) および (c) についても同様で、そのフィルタ特性において中心周波数のほぼ整数倍に高調波共振が出現する。図 12(c) の構造に

図 13 図 12(a) のフィルタ特性

Fig. 13. Filter responses of the BPF shown in Fig. 12(a).

図 14 高調波共振改善機能を有する両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF

Fig. 14. BPFs using short-ended $\lambda/2$ CPW resonators with improved spurious responses.

は、図 2 と同様で、BPF の入出力部にタップ結合が適用されているが、結果として図 4 に示されるような有極特性は得られていない。これは、BPF の入出力結合位置から共振器の終端を見た入力インピーダンスが零になる周波数が通過帯域付近に存在しないからである。

図 15 図 14(b) のフィルタ特性

Fig. 15. Filter responses of the BPF shown in Fig. 14(b).

図 17 図 16(c) のフィルタ特性

Fig. 17. Filter responses of the BPF shown in Fig. 16(c).

図 16 SL 共振器 BPF

Fig. 16. BPF using SL resonators.

両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器 BPF の特性改善について、たとえば高調波共振改善には図 14(a), (b) および (c) を用いた BPF が提案されている。図 15 に図 14(b) の結果を示す。結果より、各共振器の働きにより高調波共振が改善されていることが確認できる⁽²²⁾。また図 14(a) および (c) においても図 14(b) と同様に高調波共振改善特性が得られていることが報告されている。

両端接地型 $\lambda/2$ 共振器を CPW で構成する際、通常不要モード抑圧のためにエアブリッジが施される。しかしながら、両端接地型 $\lambda/2$ CPW 共振器は、構造上 $\lambda/2$ SL 共振器を 2 段平行に並べた構成と見なすことができる。その効果を利用し、通過帯域付近への減衰極の配置さらに高調波共振改善が可能な図 16(a), (b) および (c) の SL 共振器 BPF について報告されている⁽²³⁾。これらの BPF は、 $\lambda/2$ SL 共振器への入出力結合点を変化させることで減衰極の実現位置を通過帯域付近の、高域側 (Type1)、低域側 (Type2) そ

図 18 各種 $\lambda/4$ CPW 共振器

Fig. 18. Various $\lambda/4$ CPW resonators.

して両側 (Type3) と選択することができる。また、 Q_e の調整のため共振器への結合構造が工夫されている。一例として図 17 に図 16(c) の結果を示す。図 17 の結果より、通過帯域付近の両側に減衰極が実現されるとともに広帯域にわたり高調波共振が改善されていることが確認できる。また、図 16(a) のフィルタ構造により、通過帯域付近の高域側に、図 16(b) の構造により低域側に減衰極の実現するとともに高調波共振改善が同時に可能であることが報告されている。

2.3 一端接地型 $\lambda/4$ 共振器 BPF 一端接地型 $\lambda/4$ 共振器は、2.1 や 2.2 で述べた各 $\lambda/2$ 共振器と比較すると共振器長が半減され、BPF の小型化および高調波共振改善に適しており実用性が高い。同共振器をユニプレーナ線路で構成する場合、両端開放型 $\lambda/2$ 共振器と同様で CPW を用いることが多い^{(24) - (28)}。ここでは、CPW を用いた一端接地型 $\lambda/4$ 共振器 BPF について紹介する。

図 18 に一端接地型 $\lambda/4$ CPW 共振器の各種構成を示す。図 18(a) は、一端接地型 $\lambda/4$ CPW 共振器の基本型であり長さ $\lambda/4$ の伝送線路において一端が開放、他端が接地されて

(a) BPF using end-coupled resonators (Type 1)

(b) BPF using end-coupled resonators (Type 2)

(c) BPF using tap-coupled resonators

図 19 一端接地型 $\lambda/4$ CPW 共振器 BPF

Fig. 19. BPFs using $\lambda/4$ CPW resonators.

図 20 図 19(c) のフィルタ特性

Fig. 20. Filter responses of the BPF shown in Fig. 19(c).

いる構造である。図 18(b) は、素子装荷型共振器のうち集中定数素子装荷型を図 18(c) は、分布定数素子装荷型をそれぞれ示している。

(a) BPF using end-coupled lumped-element loaded resonators

(b) BPF using tap-coupled distributed-element loaded resonators

図 21 高調波共振改善機能を有する一端接地型 $\lambda/4$ CPW 共振器 BPF

Fig. 21. BPFs using $\lambda/4$ CPW resonators with improved spurious responses.

(b) f : 0.04 to 12.0 [GHz]

図 22 図 21(a) のフィルタ特性

Fig. 22. Filter responses of the BPF shown in Fig. 21(a).

次に一端接地型 $\lambda/4$ 共振器 BPF の基本型を図 19(a), (b) および (c) に示す。一例として、図 20に図 19(c) の結果を示す。図 20より、通過帯域付近は無極特性であり中心周波数のほぼ奇数倍に高調波共振が出現していることが確認できる。

一端接地型 $\lambda/4$ CPW 共振器 BPF についても 2:1 や 2:2 で述べたように、高調波共振改善および小型化について検討されており、たとえば、図 18(b) を用いた集中定数素子装荷型共振器 BPF(図 21(a))⁽²⁹⁾、図 18(c) を用い

図 23 特性改善機能を有する一端接地型 $\lambda/4$ CPW 共振器 BPF

Fig. 23. BPFs using $\lambda/4$ CPW resonators with improved characteristics.

図 24 図 23(a) のフィルタ特性

Fig. 24. Filter responses of the BPF shown in Fig. 23(a).

図 25 図 23(b) のフィルタ特性

Fig. 25. Filter responses of the BPF shown in Fig. 23(b).

た分布定数素子装荷型共振器 BPF(図 21(b))⁽³⁰⁾⁽³¹⁾などがあげられる。図 22に図 21(a) のフィルタ特性を示す。結果より高調波共振が広帯域にわたり良好に改善されていることが確認できる。

また、図 23(a) および (b) に示すように同じフィルタ構成において各 $\lambda/4$ 共振器への結合法および結合位置の選択

による BPF の特性改善について報告されている⁽³²⁾。この回路構成において、Resonator1 については、図 18(a) に対して、その開放端に直列に容量性素子を装荷し、入力および共振器間結合の容量性素子はその装荷容量性素子を介して結合している。また、Resonator2 については図 18(a) の側面に対して容量性素子を介して結合を施している。図 24および 25に図 23(a) および (b) のフィルタ特性をそれぞれ示す。図 24は、通過帯域付近の両側に減衰極を実現されている結果で、図 25は、通過帯域付近の低域側への減衰極と高調波共振改善が同時に実現されている結果である。

3. まとめ

本解説では、ユニプレーナ線路を用いた両端開放型 $\lambda/2$ 共振器、両端接地型 $\lambda/2$ 共振器および一端接地型 $\lambda/4$ 共振器を用いた各種 BPF について紹介した。ここでとりあげた各種構造は、ユニプレーナ線路を用いた分布定数型共振器 BPF を構成する上での基本構造である。これらは、現在、多段フィルタ、超伝導フィルタ、チューナブルフィルタ、アンテナ共用器やミリ波共振器・フィルタに応用されており、それらの技術動向については、別の機会に紹介したい。

また、CPW や SL の他にユニプレーナ線路の一種であるコプレーナストリップ (Coplanar Strip:CPS) 線路を組み合わせた構造や分布定数線路型フィルタ以外に集中定数素子型フィルタなど数多くのユニプレーナ線路フィルタが報告されている。さらに、マイクロストリップ線路 (Microstrip Line:MSL) などユニプレーナ線路以外の伝送線路とユニプレーナ線路を巧みに組み合わせたフィルタ構造についても報告されており非常に興味深い。

フィルタ特性に着目すると BPF 以外にユニプレーナ線路を用いた低域通過フィルタ (Lowpass Filter:LPF) 高域通過フィルタ (Highpass Filter:HPF) および帯域阻止フィルタ (Band Elimination Filter:BEF) についても研究、開発されており、今後もユニプレーナ線路を用いたマイクロ波・ミリ波共振器およびフィルタの技術動向には目が離すことができない。

謝 辞

本研究の一部は、21 世紀 COE プログラム研究拠点形成費補助金のもとに行われた。

(平成 15 年 11 月 10 日受付)

文 献

- (1) G.L. Matthaei, L. Young, and E.M.T. Jones: "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", Artech House, Inc., (1980)
- (2) I. Awai, "Comparative Study of Microwave Filters", Technical Survey of The Journal of The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), pp.42-45 (2000-1) (in Japanese)
栗井郁雄:「マイクロ波フィルタの比較研究」, 信学会誌解説, pp.42-45 (2000-1)
- (3) I. Awai: "Planar Microwave Filter", MWE2000, Microwave Workshops Digest, pp.445-454 (2000-12) (in Japanese)

- 栗井郁雄:「マイクロ波平面フィルタ」, MWE2000, Microwave Workshops Digest, pp.445-454 (2000-12)
- (4) Jia-Sheng Hong and M.J. Lancaster: "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Jhon Wiley & Sons, Inc (2001)
- (5) Y. Kobayashi: "Pattern Design of Planar Filters", MWE 2003, Microwave Workshops Digest, pp.527-536 (2003-11) (in Japanese)
小林禎夫:「平面フィルタのパターン設計」, MWE2003, Microwave Workshops Digest, pp.527-536 (2003-11)
- (6) T. Ishizaki: "LTCC-RF Devices for Cellular Radio Handsets", Digest of APMC2002 for Tutorial Lecture, pp.79-94 (2002-11) (in Japanese)
石崎俊雄:「携帯電話用 LTCC-RF デバイス」, APMC2002 基礎講座テキスト, pp.79-94 (2002-11)
- (7) C.P. Wen: "Coplanar Waveguide: A Surface Strip Transmission Line Suitable for Nonreciprocal Gyromagnetic Device Applications", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol.MTT-17, No.12, pp.1087-1090 (1969-12)
- (8) S.B. Cohn: "Slotline on a Dielectric Substrate", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol.MTT-17, No.10, pp.768-778 (1969-10)
- (9) D.F. Williams and S.E. Schwarz: "Design and Performance of Coplanar Waveguide Bandpass Filter", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol.MTT-31, No.7, pp.558-566 (1983-7)
- (10) K. Wada and I. Awai: "Realization of Tap-feed $\lambda/2$ CPW Resonator BPF with Double Attenuation Poles", Proc. 1996 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.1127-1131 (1996-12)
- (11) H. Kanaya, Y. Koga, T. Shinto, and K. Yoshida: "Design and Performance of Miniaturized HTS Coplanar Waveguide Bandpass Filters with Highly Packed Meanderlines", *IEICE Trans. on Electronics*, Vol.E85-C, No.3, pp.708-713 (2002-3)
- (12) K. Wada, Y. Noguchi, H. Fujimoto, and J. Ishii: "A Tapped-Line Coplanar Waveguide Bandpass Filter with Finite Attenuation Poles", Proc. of 1994 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.763-766 (1994-12)
- (13) K. Wada and I. Awai: "Design of a Bandpass Filter with Multiple Attenuation Poles Based on Tapped Resonators", *IEICE Trans. on Electronics*, Vol.E82-C, No.7, pp.1763-1775 (1999-7)
- (14) K. Wada, T. Kamiyama, and O. Hashimoto: "An Effective Method for Designing Bandpass Filters Using $\lambda/4$ Resonators for Improving Out-of-Band Characteristics", *IEICE Trans. on Electronics*, Vol.E86-C, No.2, pp.150-161 (2003-2)
- (15) K. Wada, Y. Aihara, T. Kamiyama, and O. Hashimoto: "Location of Multiple Transmission Zeros by Tap-Coupling Technique for Bandpass Filters and Duplexers Using Short-Ended $\lambda/2$ Resonators", *IEICE Trans. on Electronics*, Vol.E86-C, No.12, pp.2403-2411 (2003-12)
- (16) K. Wada and I. Awai: "A New Concept of a Bandpass Filter with Transmission Zeros Based on Tap-Connected Half-Wavelength Resonator", Proc. of 1998 Asia-Pacific Microwave Conference, Vol.1, pp.89-92 (1998-12)
- (17) Y. Noguchi, S. Kitazawa, Y. Takeda, K. Wada, and J. Ishii: "Spurious Responses of $\lambda_{g0}/2$ Coplanar Waveguide Resonator Bandpass Filters and a Method for Suppressing These Spurious Responses", Proc. of IV International Symposium on Recent Advances in Microwave Technology, B15, pp.610-614 (1993-12)
- (18) K. Wada, N. Takayama, and I. Awai: "Reduction of Radiation Loss in a Coplanar Waveguide Resonator", Proc. of 1998 China-Japan Joint Meeting on Microwaves, pp.113-116 (1998-8)
- (19) K. Wada and I. Awai: "A $\lambda/2$ CPW Resonator BPF with Multiple Attenuation Poles and Its Miniaturization", Digest of 1999 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (1999)
- (20) K. Wada, I. Awai, and K. Kisaka: "Characteristics of a Short-Ended CPW Resonator with Impedance Step", *Technical report of IEICE*, MW98-111, pp.1-6 (1998-11) (in Japanese)
和田光司・栗井郁雄・木坂憲太郎:「インピーダンスステップを有する両端接地形コプレーナ線路共振器の基本特性」, 電子情報通信学会研究技術報告, MW98-112, pp.1-6 (1998-11)
- (21) J.K.A. Everard and Kwork K.M. Chang: "High Performance Direct Coupled Bandpass Filters", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol.MTT-41, No.9, pp.1568-1573 (1993-9)
- (22) K. Wada, I. Awai, and Y. Iwamoto: "Characteristics of Short-Ended Coplanar Waveguide Resonator with Low Spurious Response and Its Application to a Bandpass Filter", *IEICE Trans. on Electronics*, Vol.E82-C No.1, pp.126-132 (1999-1)
- (23) Y. Iwamoto, K. Wada, and I. Awai: "Excitation Method for a Slotline Resonator and Its Application to a Bandpass Filter", Proc. of the 1996 Chugoku-Region Autumn Joint conference of 5Institutes, p.152 (1996-10)
岩本泰生・和田光司・栗井郁雄:「スロット線路共振器への給電法および帯域通過フィルタへの応用」, 電気・情報関連学会中国支部第47回連合大会講演論文集, p.152 (1996-10)
- (24) Y. Noguchi, J. Ishii, H. Miyake, and Y. Takeda: "Spurious Suppression of $\lambda_{g0}/4$ CPW-Resonator Bandpass Filters", Proc. of 1992 Asia-Pacific Microwave Conference, pp.507-510, Dec. (1992)
- (25) Y. Noguchi, S. Kitazawa, T. Wada, T. Ohmiya, and N. Okamoto: "A New Compact $\lambda_{g0}/4$ Coplanar Waveguide Resonator Bandpass Filter", 23rd European Microwave Conference Proceedings, P1-14, pp.631-633 (1993)
- (26) H. Suzuki, Zhewang MA, Y. Kobayashi, K. Satoh, S. Narahashi, and T. Nojima: "A Low-Loss 5 GHz Bandpass Filter using HTS Quarter-Wavelength Coplanar Waveguide Resonators", Vol.E85-C No.3 pp.714-719 (2002-3)
- (27) K. Wada, I. Awai, and Y. Yamashita: "Characteristics of $\lambda/4$ CPW Resonators with Tap-Excitation and Their Application to Bandpass Filters", Digest of 1997 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Vol.2, WE3D-6, pp.717-720 (1997)
- (28) K. Wada and I. Awai: "Basic Characteristics of a Quarter-Wavelength CPW Resonator with Tap-Feed Structure and Its Application to a Bandpass Filter with Attenuation Poles", *IEICE Trans. on Electronics*, Vol.E81-C No.6, pp.924-933 (1998-6)
- (29) Y. Noguchi and J. Ishii: "New Compact Bandpass Filters Using $\lambda_{g0}/4$ Coplanar Waveguide Resonators and a Method for Suppressing These Spurious Responses", *IEICE Transactions on Electronics*, Vol.J-76-C-I, No.11, pp.488-494 (1993-11) (in Japanese)
野口泰正・石井順也:「 $\lambda_{g0}/4$ コプレーナ線路共振器形帯域通過フィルタとそのスプリアス応答の抑圧について」, 信学会論誌, J-76-C-I, 11, pp.488-494 (1993-11)
- (30) K. Wada, I. Awai, and T. Moriyoshi: "Reduction of a Size for a BPF Made of a Quarter-Wavelength CPW Resonator", *Technical report of IEICE*, MW98-111, pp.7-12 (1998-11) (in Japanese)
和田光司・栗井郁雄・森吉 健:「一端接地形コプレーナ線路共振器帯域通過フィルタの小型化」, 通信学会研究技術報告, MW98-112, pp.7-12 (1998-11)
- (31) A. Sanada, H. Takehara, T. Yamamoto, and I. Awai: "Fabrication of MOD-Derived YBCO Films on (001) $LaAlO_3$ and Their Application to $\lambda/4$ CPW SIR BPFs", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol.50, No.12, pp.2856-2861 (2002-12)
- (32) K. Wada, T. Kamiyama, and O. Hashimoto: "An Effective Method for Designing a Bandpass Filter Using Quarter-Wavelength Resonators for Improving Out-of-Band Characteristics", Proc. of 2002 Korea-Japan Microwave Workshop pp.101-104 (2002)

和田光司(正員) 1969年生。1993年近畿大学理工学部電気電子工学科卒業。1995年近畿大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1997年～1999年日本学術振興会特別研究員(DC)。1999年山口大学大学院博士後期課程修了。同年4月青山学院大学助手、現在に至る。博士(工学)。主としてマイクロ波・ミリ波伝送線路およびそれらの受動デバイスへの応用に関する研究に従事。電子情報通信学会, エレクトロニクス実装学会 IEEE 会員。

神 山 智 英（非会員）1979年生。2002年青山学院大学理工学部電気電子工学科卒業。現在，同大学院 博士前期課程在学中。マイクロ波フィルタに関する研究に従事。電子情報通信学会学生員。

橋 本 修（正員）1953年生。1976年電気通信大学電気通信学部応用電子工学科卒業。1978年同大学大学院修士課程修了。同年（株）東芝入社。1981年防衛庁入庁。1986年東京工業大学大学院博士課程修了。1991年青山学院大学助教授。1997年4月青山学院大学教授。工学博士。主な著書に「電波吸収体入門」（森北出版 1996）「FDTD 時間領域差分法入門」（森北出版 1996）「例題で学ぶ 電気・電子工学のための応用数学」（リアライズ社 1995）「マイクロ波・ミリ波帯における測定技術」（リアライズ社 1998）「電波吸収体のはなし」（日刊工業新聞 2001）「高周波領域における材料定数測定法」（森北出版 2003）等。応用電波工学，環境電磁工学，計測工学の研究に従事。電子情報通信学会，日本航空宇宙学会，映像情報メディア学会，IEEE 会員。