

導波損失を考慮した異径直列結合マイクロリング共振器波長フィルタの デジタルフィルタ設計手法

Digital Filter Design Method for High-Order Different Radii Series-Coupled Microring Wavelength Filter Considering Propagation Loss

横国大院工¹, [○]小松原 拓也, 國分 泰雄, 荒川 太郎

Yokohama National Univ., [○]Takuya Komatsubara, Yasuo Kokubun, Taro Arakawa

E-mail: komatsubara-takuya-hf@ynu.jp, arakawa-taro-vj@ynu.ac.jp

【はじめに】高次直列結合マイクロリング共振器(MRR)による波長フィルタは、小型で集積性に優れ、様々なフィルタ特性の設計が可能である[1,2]。しかし、フィルタ特性の重要なパラメータの一つである 3 dB 波長帯域は試行錯誤的に設計されることが多い[3]。

これに対し、我々はこれまでデジタルフィルタ設計手法を応用して、バタワース特性を有する無損失の場合の異径高次直列結合 MRR 波長フィルタの設計手法の検討を行ってきた[4]。しかし、無損失を仮定して設計したフィルタでは、実際に導波損失が生じている場合、バタワースフィルタ特性が劣化してしまう。そこで、本研究では損失を考慮した設計手法を提案する。

【設計方法】Fig. 1 に模式図を示す異径 4 次直列結合 MRR を考える。まず、伝達行列法[5]を用いて Input-Drop ポート間の伝達関数を導出する。これに対して、Z 領域における異径時の 4 次バタワース関数を定義することで、デジタルフィルタの伝達関数を与え、2 つの関数の $z=e^{j\beta L_0}$ の係数比較を行い、結合効率を導出する。しかし、これまで定義してきた異径時のバタワース関数では、導波損失を考慮できていなかった[4]。そこで、本研究では、実数 u を用いて式(1)のように導波損失を考慮した異径時の 4 次バタワース関数を新しく定義した。

$$H_{4,\text{Butt}} = \frac{u \cdot \sigma_4}{(1 - p_1^2 z^{-2})(1 - p_2^3 z^{-3})(1 - p_3^3 z^{-3})(1 - p_4^2 z^{-2})} \quad (1)$$

$$p_k = \exp \left[2\pi \cdot \frac{\Delta\lambda/2}{FSR_0} \cdot e^{j\frac{2k-3}{8}\pi} \right] (k=1, \dots, 4) \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\lambda$ は 3 dB 波長帯域、 FSR_0 は基準リング周長 L_0 に対する共振波長間隔であり、 L_0 の整数倍のリング周長を Fig.1 のように実際のリング周長として与える。

上記のように導出された関数の分母の z の係数比較と、分子の比較により導かれる連立方程式から結合効率 K_n の導出する。しかし、これら全ての関係を満たす解は存在しないため、近似解を求める。この近似によるスペクトルのバタワース特性からのずれを補正しつつ、損失の影響を考慮するために u の値を調整するが、最終的に得られる 3 dB 波長帯域は通常、所望値から数%ずれる。そこで、あらかじめずれの値を見

込んで、目標 3 dB 波長帯域を与える。設計例として、共振波長 $\lambda_0=1550$ nm, 共振波長間隔 $FSR=FSR_0=6.2$ nm, 3 dB 波長帯域 $\Delta\lambda=0.400$ nm のフィルタを設計する。 $m_1=2$, $m_2=3$ として、リング周長は $L_1=228$ μm , $L_2=342$ μm とする。 $\Delta\lambda$ が 4.3 % 狭くなることを見込んで、3 dB 波長帯域を $\Delta\lambda=0.418$ nm とした。損失は結合部の電界透過率 $\eta=0.95$, リング 1 とリング 2 の電力透過率 $a_1=0.98$, $a_2=0.97$ と仮定した。前述の設計法により結合効率を計算すると $\{K_0, K_1, K_2, K_3, K_4\}=\{0.84, 0.24, 0.093, 0.162, 0.16\}$ が得られた。フィルタ特性を Fig. 2 に示す。目標通り、 $\Delta\lambda=0.400$ nm のバタワースフィルタ特性が得られた。これより、本設計法が損失を考慮した異径直列結合 MRR 波長フィルタの設計において極めて有用な手法であることがわかった。

参考文献

- [1] Y. Goebuchi *et al.*, IEEE Photon. Technol. Lett., 18, 3 (2006).
- [2] B. E. Little *et al.*, J. Lightw. Technol., 15, 6 (1997).
- [3] C. Chaichuay *et al.*, Opt. Appl., 39, 1 (2009).
- [4] T. Komatsubara *et al.*, 第 64 回春季応物講演会, 16a-316-8 (2017)
- [5] C. Madsen *et al.*, "Optical Filter Design and Analysis," Wiley (1999).

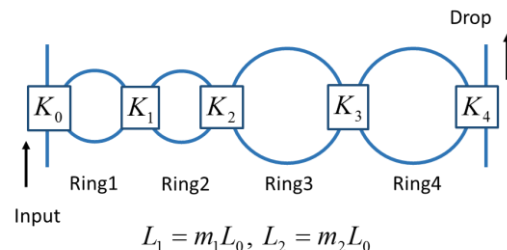


Fig.1. Schematic top view of 4th-order series-coupled microring resonator (MRR) filter.

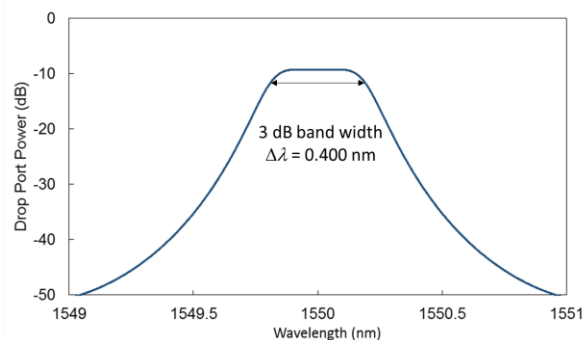


Fig.2. Theoretical spectral response at Drop port of 4th-order MRR filter designed using transfer matrix method for $\Delta\lambda=0.400$ nm, $L_1=2L_0$, $L_2=3L_0$ where $L_0=114$ μm , and $FSR=6.2$ nm