

レーストラック型リング光共振器の設計と作製

田主 裕一朗 (COE研究員),

和氣 勝 (先端研量子物質科学専攻 M2),

横山 新 (ナノデバイス・システム研究センター 教授, 先端研半導体集積科学専攻)

1. 研究目的

LSI の微細化に伴い金属配線による配線遅延が LSI の高速化を阻む最大の要因となっている。光配線は配線遅延を克服する有力な手段である。

超小型 (10 μm オーダー) リング光共振器が可視光や赤外光の波長フィルタとして利用できることが示され注目されている[1]。波長フィルタは一本の光ファイバーまたは光導波路に多数の異なる波長の光を伝送して大容量通信を実現する波長多重通信に不可欠なデバイスである。リング共振器は Si プロセスで作成可能なのでチップ内光配線における集積型波長フィルタとして最適である。

Chu らはリングとバスライン導波路とを積層する積層型リング共振器を開発した[2]。積層型の利点はリングとバスラインとの結合効率を間に挟まれるクラッド層の厚さによって正確に制御できる点である。しかし、積層型リング共振器はリングとバスラインとを同平面に作成する平面型リング共振器よりも製造プロセスが複雑になる。そこで我々は平面型レーストラックリング共振器[3]を作製した。平面型真円リング共振器では結合効率の制御が困難であることが最大の弱点であるが、レーストラック型では結合長を変化させることで結合効率を正確に制御できる。

2. これまでの研究成果概要

レーストラック共振器の概略を Fig. 2 に示す。設計パラメータはリング半径 R 、結合長 L 、およびギャップ g である。Input から入力した光の一部はギャップを通じでリング内に移る。リングを一周したときに位相が元に戻る波長を持った光がリング内で共振し、Output 2 に強く出力されるので、共振波長は

$$\lambda_m = n_{\text{eff}} \frac{2\pi R + 2L}{m} \quad (1)$$

で与えられる。ここで n_{eff} は有効屈折率、 m は任意の整数である。結合効率はギャップ g と結合長 L で決まるが、リング内で光が共振可能な程度には大きくする必要はある。レーストラック型の利点はギャップを 0.2 μm 程度に広く取っても結合長 L を長くすれば結合効率を十分に大きくすることができる点である。しかし、式(1)から共振波長間隔(FSR)はレーストラックの周長に反比例するので、FSR を広く取るためには結合長 L は短いほうが良い。

Fig. 3(a), (b) の二種類のレーストラック型リング共振器を作製した。両者の違いは結合長の長さのみであり、リングの周長およびリング半径は同一に設計した。まず、導波路幅を決定するために導波路の伝播損失の幅依存性を有限差分法(FDM)でシミュレートした (Fig. 4)。シミュレータには Apollo Photonic Solutions Suite

を用いた。幅 3 μm とすれば光通信で用いられる波長 1.3 μm 近傍での損失は十分小さくなることがわかった。次に、リング半径を決めるために曲げ損失の曲げ半径依存性をシミュレートした (Fig. 5)。FSR を広く取るためにはリング半径 R は短いほうが望ましいので、多少損失は大きくなるがリング半径 R を 10 μm とした。

作製は Fig. 6 のように、電子ビームリソグラフィでパターンを作製し、反応性イオンエッチング(CF₄+N₂ プラズマ)により窒化膜をエッチングした。狭いレジストギャップではエッチングレートが低下するので、ギャップ部分では窒化膜は完全にエッチングされずギャップは不完全となった。

Fig. 7 は Fig. 3(a) のサンプルの共振特性の測定結果である。二次元有限差分時間領域(2D-FDTD)シミュレーションによる結果も示した。Output 1 のディップと Output 2 のピークが良く対応しており、シミュレーションによる共振波長とも良く一致している。Fig. 3(a)と(b)のサンプルの Output 2 への出力測定を比較したのが Fig. 8 である。(a)のほうが結合長が長く結合効率が大きいので Output 2 への出力が大きい。Fig. 9 は Output 2 への共振波長での出力の測定結果をシミュレーション結果と比較したものである。シミュレーションではギャップが完全に形成されたと仮定しているため、測定結果よりもサンプル間の出力差が大きくなっている。

3. まとめと今後の予定

レーストラック型リング光共振器の設計と製作を行い、特性を評価した。シミュレーションと比較し、良く一致していることを確かめた。今後はさらに設計を最適化するとともに、リングのコア材料に電気光学材料を用いた光スイッチへ応用する。

参考文献

- [1] B. E. Little *et al.*, J. Lightwave Technol. **15** (1997) 198.
- [2] S. T. Chu *et al.*, Photon Technol. Lett. **11** (1998) 691.
- [3] W. Lorattanaruangkit *et al.*, Proc. Asia-Pacific Microwave Conf. 1183 (2000).

4. これまでの研究発表

1. Y. Tanushi, M. Wake and S. Yokoyama, "Race-Track Optical Ring Resonators with Groove Coupling", submitted to Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM2004).
2. Y. Tanushi, K. Wakushima and S. Yokoyama, "Very Small Optical Switch using Tunable Optical Ring Resonator Controlled by Electric Field", 応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (2004) 29a-ZC-9.
3. Y. Tanushi, M. Wake, K. Wakushima, M. Suzuki and S. Yokoyama, "Technology for Ring Resonator Switches using Electro-Optic Materials", submitted to Int. Conf. on Group IV Photonics.

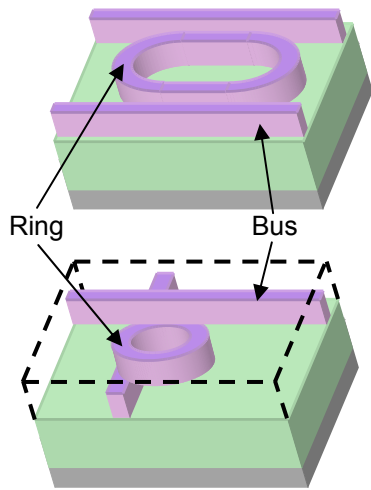


Fig. 1 Planar and Stack ring resonators. Planar resonator has simple structure and can be easily fabricated.

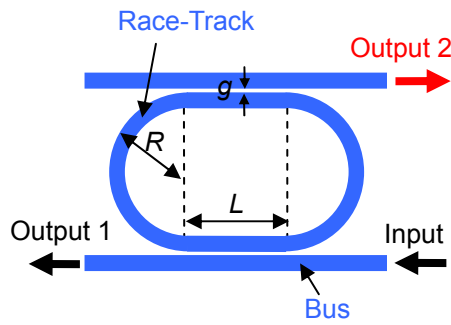


Fig. 2 Structure of race-track resonator. Device parameters are the ring radius R , the gap g , and the coupling length L . The resonating wavelength depends on R and L , and the coupling efficiency depends on g and L .

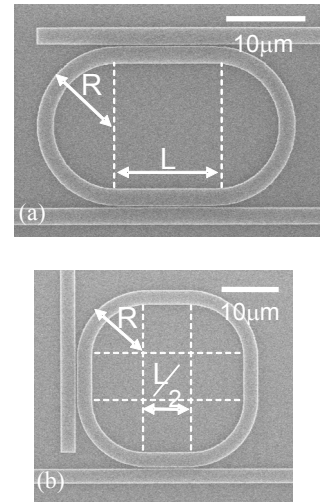


Fig. 3 SEM photographs of the fabricated two kinds of race-track resonators. The coupling length L is (a) $12.6 \mu\text{m}$ and (b) $6.3 \mu\text{m}$ respectively. The ring radius R is $10 \mu\text{m}$ and the gaps are $0.2 \mu\text{m}$ in both samples.

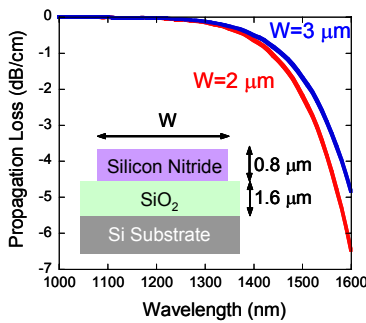


Fig. 4 Simulated propagation loss by FDM. The cross section of the waveguide is also shown.

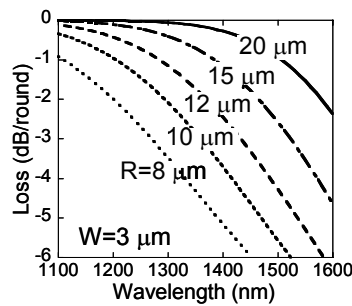


Fig. 5 Simulated bending loss by FDM. The structure of the waveguide is the same as the one in Fig. 4

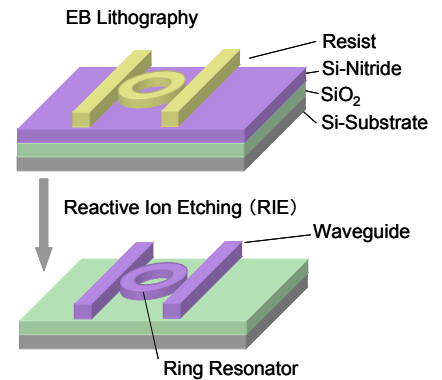


Fig. 6 Fabrication process of the race-track resonator. Silicon nitride film is deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) and SiO_2 cladding layer is thermally oxidized.

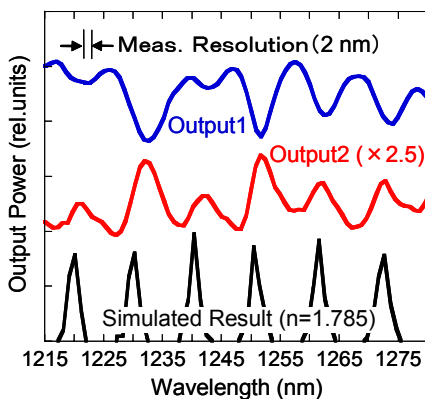


Fig. 7 Measured resonating property of the sample shown in Fig. 3(a). Simulated result is also shown. Simulation method is 2D FDTD.

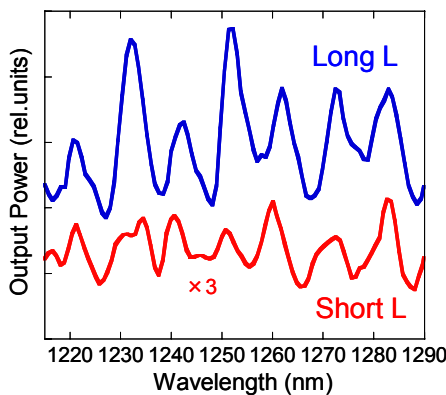


Fig. 8 Comparison between the intensities of output 2 for the fabricated two kinds of samples shown in Figs. 3(a) and 3(b).

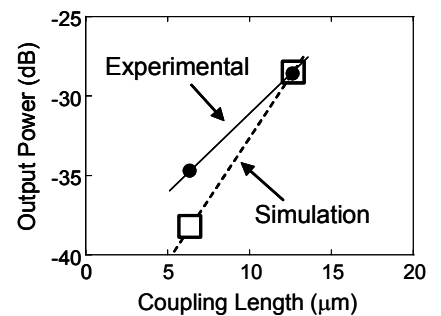


Fig. 9 Power of output 2 for samples (a) and (b) in Fig. 3. In the simulation it is assumed that the groove reaches to the bottom cladding layer.