金属−誘電体遮蔽半導体ピラー構造の微小光共振器作製とその評価

Evaluation and fabrication of metallo-dielectric semiconductor pillar nanocavities

北大電子研 〇竹本 亮, 石原 渚, 黒澤 裕之, 末宗 幾夫

RIES Hokkaido Univ. ^ORyo Takemoto, Nagisa Ishihara, Hiroyuki Kurosawa, and Ikuo Suemune

E-mail: r.takemoto@es.hokudai.ac.jp

【はじめに】 情報通信処理の光化に伴い、光デバイスの小型・集積化が必要とされている。光 の場の制御が可能な微小光共振器は様々提案されているが、発光源を金属で遮蔽した金属共振器 は、3 次元全ての方向で波長サイズまでモード体積(発光源と結合する電磁モードの体積)を小 型化できる。また、金属で光学モードが外部へ広がるのを抑え他モードとの干渉を制御するため、 集積化にも適している。今回我々は、発光波長領域の広い n-GaAs を発光源に用いて金属共振器 を作製し、その最適な作製プロセスを探査した。また、金属・半導体間に誘電体(SiO2)を挿入する ことで、金属界面での光の損失を抑える等の処置を施し、今まで発表された室温下での金属共振 器[1-4]のなかでも最高Q値であるQ~9,000を記録したので報告する。

(1) 生きぬいてもないてく起てのまして、のののでにないていたいていたいでは、「「「「「「」」」の作製を行った(Fig. 1)。
(1) EB 描画装置によるリソグラフィーと RIE 装置によるエッチングにより SiO2 マスクを形成し、ICP-RIE 装置によるエッチングにより SiO2 マスクを形成し、ICP-RIE 装置によるエッチングによってピラー構造を作製する。次いで、プラズマ CVD 装置を用いて、誘電体(SiO2)で半導体ピラー構造を被覆し、その上からシランカップリング剤を塗布することで、後に堆積する金属界面との剥離層を形成する。その後、真空蒸着装置を用いて高反射率・低損失な金属(Ag)で構造全体を覆う。最後に、支持基板としてガラスを UV 硬化樹脂で貼り付け、治具を用いて半導体基板側と支持基板側にそれぞれ、方向の力を加え、基板上の金属・誘電体界面で剥離させる。以上の工程で金属側にピラー構造を埋め込む。
(2) 誘電体で半導体ピラー構造を被覆するところまで上記の①と同様のプロセスを行い、剥離層を形成せずに、直接金属で埋め込む。同様に支持基板を付けた後、研磨紙による半導体基板の研磨を誘電体界面が表れる直前まで行い、再度 ICP-RIE 装置で残りの半導



よる半導体基板の研磨を誘電体界面が表れる直前まで行い、再度 ICP-RIE 装置で残りの半導体層をエッチングし、取り除く。以上より金属側にピラー構造が埋め込まれた形が完成する。 試料作製後は走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察・評価を行った。 再度 ICP-RIE 装置で残りの半導

【結果】 実験①,②の作製結果を Fig. 2, Fig. 4 にそれぞれ示す。微小光共振器としての性能を向上させるためには、パーセル因子 $F_p = (3/4\pi^2)(\lambda_c/n)^3(Q/V)$ において、高い Q 値と小さなモード体積を両立させることが重要である。一方、埋め込み後のモード体積縮小を想定して半導体部をさらに選択エッチングする際、②の作製方法での試料表面がピラー部以外誘電体であるのに対し、①では金属となるため、Ag がエッチングされ半導体部の選択エッチングが困難である。(Fig. 3 参照)また①の作製方法では、ピラー構造のアスペクト比がピラー構造が抜けず金属に留まるか否かの歩留まりに直接左右するため、微小光共振器における設計の自由度が減少する。以上より②の作製方法の方が本構造での微小光共振器作製に適しているといえる。この方法でn-GaAs ピラー構造を Ag に埋め込んだ共振器構造を作製し、共振 Q 値~9,000の鋭い共振ピークを観測した[5]。 を観測した[5]。

今後は、本構造のモード体積と共振条件の関係性を調査し、量子ドットと結合させることで非 線形光学効果を用いた二光子同時放出源などに応用していきたい。



Fig. 2 SEM image of the sample ①.



Fig. 3 SEM image of the sample 2 after the selective etching.(SEM)



Fig. 4 SEM image of the sample 2.

[1] M. P. Nezhad et al., Nature. 4, 395-399 (2010).

- [2] Ding K, et al., Optics Express **21**, 4728-4733 (2013).
- [3] Hill MT et al., Opt Express 17, 11107–11112 (2009).
- [4] Ding K et al., Phys Rev B, 85, 041301-041305 (2012).
- [5] 石原 渚, 第 74 回応用物理学会秋期学術講演会, 4. 2 (2013).