

局所的な膜厚揺らぎによる高 Q 値 Si ナノ共振器の動作波長ばらつき

Resonant wavelength variation of high- Q Si nanocavities by local thickness fluctuation

大阪府大院工¹, 京大院工² ○(M2) 田中捺美¹, 田中健悟², 浅野卓², 野田進², 高橋和¹

Osaka Pref. Univ.¹, Kyoto Univ.² ○N. Tanaka¹, K. Tanaka², T. Asano², S. Noda², and Y. Takahashi¹

E-mail: n-tanaka-9G@pe.osakafu-u.ac.jp

【概要】我々はシリコンスラブを用いたナノ共振器研究において、世界最大 Q 値を達成するとともに[1]、低閾値ラマンレーザ[2]、多チャンネル小型波長分波器[3]などを開発してきた。これらの応用デバイスにおいては、高 Q 値だけでなく、動作波長 (λ) のばらつきを抑えることも重要となる。先行研究において我々は、 λ ばらつき低減には、高 Q 値化と同様に、空気孔揺らぎ(円孔中心と半径)を小さくすることが重要であることを明らかにしてきた[4],[5]。しかしこれまで、作製精度の向上により実験 Q 値が 1000 万以上まで増大する一方で、 λ ばらつきは期待されるほどは低減してこなかった。今回、局所的なシリコンスラブの膜厚揺らぎも λ ばらつきに強く影響していることが示唆されたので報告する。

【実験結果】まず、同一構造を持つ 43 個のナノ共振器の Q 値と λ を測定した[6]。図 1(a)は測定したヘテロナノ共振器構造(格子定数 $a = 410$ nm, $a' = 415$ nm, $a'' = 420$ nm, 空気孔半径 110 nm)を、図 1(b)は λ のヒストグラムを示している。43 個の λ ばらつきの標準偏差は 0.48 nm (σ_{λ_exp} とする)となった。実験 Q 値のばらつき(測定結果は割愛する)と空気孔揺らぎを含んだ FDTD 計算を比較すると、測定したサンプルの空気孔揺らぎは 0.41 nm と見積もられた[5]。この空気孔揺らぎが引き起こす λ ばらつきは、同様の FDTD 計算から 0.21 nm (σ_{λ_hole} とする)と評価される。この値は、 σ_{λ_exp} の半分以下であり、空気孔揺らぎ以外にも、 λ をばらつかせる主要因が存在していることが示唆される。

つづいて、共振器を作製したウエハ上上の別領域におけるシリコンスラブの厚みを 1000 点、測定した 43 個の共振器が分布しているのと同じ面積 ($200\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$) にわたって顕微分光膜厚計(空間分解能 $\phi 5\ \mu\text{m}$)で測定した結果を図 2 に示す。膜厚の標準偏差は 0.16 nm となった。この膜厚揺らぎがもたらす λ ばらつき (σ_{λ_thick}) を FDTD 計算によって評価すると 0.29 nm となる。つまり、図 1(b)の実験結果は、膜厚揺らぎによる λ ばらつきを、少なくともこの程度は含むと考えられる。 σ_{λ_hole} と σ_{λ_thick} が同時に存在する場合の λ ばらつきは、 $\sigma_{\lambda} = \sqrt{\sigma_{\lambda_hole}^2 + \sigma_{\lambda_thick}^2}$ より 0.36 nm と計算される。 σ_{λ_exp} (0.48 nm)とは依然として差があるが、これは図 1(b)が正規分布からある程度逸脱していること、顕微膜厚計の空間分解能が十分でない可能性が考えられる。以上より、 λ ばらつきを低減するには局所的な膜厚揺らぎを抑えることも重要である。

【謝辞】本研究は科研費の支援を受けた。

【参考文献】[1] T. Asano, *et al.*, Opt. Express **25**, 1769 (2017). [2] Y. Takahashi, *et al.*, Nature **498**, 470 (2013). [3] Y. Takahashi, *et al.*, Optics Express **22**, 4692 (2014). [4] H. Hagino, *et al.*, Physical Review B **79**, 085112 (2009). [5] Y. Taguchi, *et al.*, Optics Express **19**, 11916 (2011). [6] 田中健悟, 他, 2018 秋季応物, 20p-PA1-7.

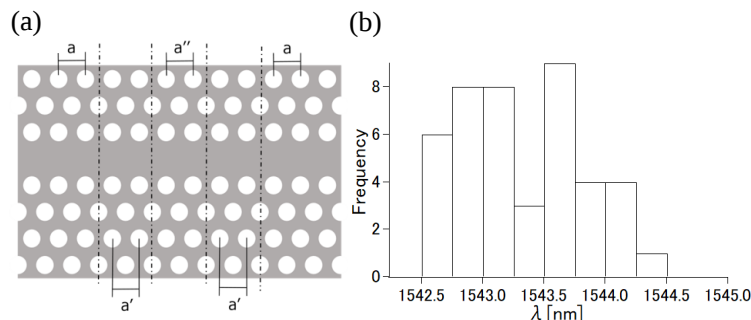


Fig. 1. (a) Measured heterostructure nanocavity. (b) Histogram of the resonant wavelengths.

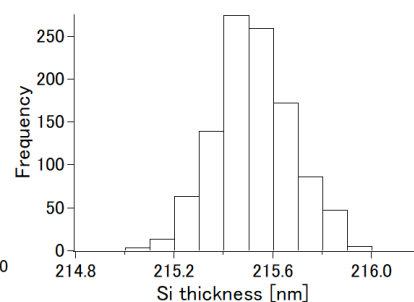


Fig. 2. Histogram of the thickness for Si slab.