

課題番号 : F-15-OS-0060
利用形態 : 技術代行
利用課題名(日本語) : Si 基板上への微細円筒形キャビティパターンの制作
Program Title (English) : Patterning of micro cavities on Si wafer
利用者名(日本語) : 尾村和信
Username (English) : Kazunobu OMURA
所属名(日本語) : 北海道大学工学部機械知能工学科
Affiliation (English) : Department of Mechanical and Intelligent System Engineering, School of Engineering, HOKKAIDO UNIVERSITY

1. 概要(Summary)

導体壁をもつ微細なキャビティ構造を有する面からの熱放射には、キャビティ内での電磁波の共振の効果により、特定の波長が強く放射される。このような波長選択性熱放射は、有機溶媒を対象とした乾燥炉において需要がある。本研究ではトルエンの吸収帯のひとつである $6.68 \mu\text{m}$ 帯を放射ピーク波長の制御目標に設定し、キャビティを片側開放の円筒形空洞共振器の形状とすることで放射ピーク波長を制御する。放射率スペクトルを取得用サンプル基板作成のため、大阪大学ナノテクノロジー設備供用拠点に対して、技術代行による Si 基板へのキャビティパターンの製作を依頼した。パターンニングされた基板に対して、北海道大学において自分で金薄膜をスパッタリングしてサンプルを完成させ、放射率スペクトルを取得したところ、波長選択性についてその発現と、製作精度が及ぼす影響が確認された。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

深掘りエッチング装置, LED 描画システム

【実験方法】

私が目標波長にフィッティングするように設計したパターン寸法を大阪大学の担当者に連絡し、描画装置の性能などを勘案してこの寸法値を最適化してもらった。こうして決定した寸法形状のキャビティパターンを、Si 基板上に LED 描画システムを用いて描画してもらった。さらに、現像してできたレジストパターンに対して、深掘りエッチング装置によりアスペクト比(直径/深さ)0.90 程度の垂直エッチングを行ってもらった。パターンサンプルは、4種類の露光時間について計 6 枚を製作し、返送してもらった。大阪大学にはここまでの作業を委託した。

以降の作業は北海道大学の技術者の協力のもと自ら行った。6 枚のサンプルのうち、露光条件として装置の走査速度 1.2mm/sec のもの 1 枚に対して、コンパクトスパッタ装置を用いて Au を側面に 100nm 、底面に 173nm 程度成膜し、壁面での電磁波反射の境界条件を実現した。

こうして完成したサンプルに対して、FT-IR 装置を用いて反射率スペクトルを取得し、Kirchhoff の法則の仮定と、金薄膜の表皮効果を勘案することによってこの反射率を放射率に読み替え、放射ピーク波長と空洞共振器理論から推算される予測ピーク波長とを比較した。さらに、FE-SEM を用いて、サンプルの表面および断面の観察を行った。装置の詳細を Table1 に示す。

Table1 Experimental equipment

Equipment	Manufacture	Detail
Lithography	PMT.	PLS-1010
Etching	SAMCO	RIE-400iPB-NP
Sputter	ULVAC	ACS-4000-C3-HS
FT-IR	Thermo Scientific	Nicolet iS50
FE-SEM	JEOL	JSM-6700FT

3. 結果と考察(Results and Discussion)

成膜前後のサンプル基板の写真と、成膜後の基板の SEM 像を Figure1 に示す。サンプル基板について取得した放射率スペクトル上に、設計段階での寸法および SEM により取得した実寸のそれぞれを用いて、TM, TE 偏波の基本モードについて推算した予測ピーク波長(設計値:des., 実寸:act.)および当初目標としていた波長(target)をそれぞれ表示したものを、Figure2 に示す。また、設計寸法および実寸をそれぞれ Table1 に示す。

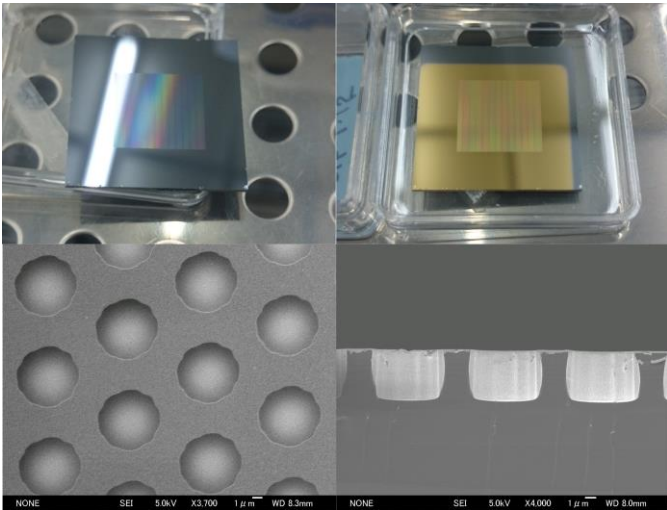


Figure1 Picture and SEM images for sample wafer

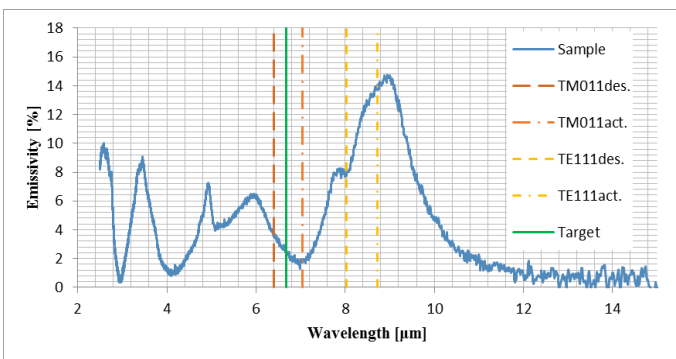


Figure2 Emissivity spectrum with expected lengths

Table2 Design and actual size of cavity pattern

	Design	Actual
Diameter	5.20	5.8±0.3
Depth	4.7	4.53±0.04
Pitch	8.64	8.72±0.03

unit: µm

Figure2 からわかるように、目標としていた波長において、目立ったピークを得ることができず、それに加えて全体的に放射率が、先行研究から期待される値よりも小さい。これらの原因については先行する研究を参考するとキャビティの深さなどが考えられるが、今回の実験ではサンプル数が一つであるため、確かなことは言えない。また Figure2 および Table1 より、設計値と実寸との間のずれが、予測波長のずれにつながっていることがわかる。そこで空洞共振器理論に基づいたピーク波長予測の妥当性について、予想ピーク波長がスペクトルのピークと良い一

致を見ている TE 偏波に着目し、形状精度がどの程度影響を及ぼすのかを調べた。その結果、今回生じた予測波長のずれは、形状精度から推算される値よりも小さく、TE 偏波については、空洞共振器理論によるピーク波長予測は妥当であることが明らかとなった。また、形状精度が予想ピーク波長に及ぼす影響の感度については、直径が深さの 4.2 倍程度の値を有していることが分かった。これは、例えば幅 0.70 µm の吸収帯を目標とする場合には、直径について±0.20 µm、深さについて±0.81µm 程度の精度が許容されるような程度の値である。このことから、より良い精度のピーク波長制御を実現するためには、設計段階で直径について特に慎重な検討が必要であるといえる。

4. その他・特記事項 (Others)

・参考文献

S. Maruyama et al., Appl. Phys. Lett., 79(9), pp.1393-1395, 2001.

堤井信力, “電磁波の基礎”増補 2 版, 内田老鶴圃, 第 4 章 pp. 79 – 124, 1997.

・法澤公寛様をはじめ大阪大学ナノテクノロジー設備供用拠点の方々に深く感謝します。

・用語説明

TM 偏波, TE 偏波: 電磁波の伝播の仕方. 前者は磁界, 後者は電界について, z 軸方向の成分を持たない.

基本モード: 導波管において最大の遮断波長を有する電磁波の導波モード. すなわち, このモードの電磁波が導波管においてもっとも広い波長域で分布している.

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) 尾村和信, “微細キャビティ構造による波長選択的熱放射の研究”, 北海道大学平成 27 年度卒業論文, 2016

(2) 尾村和信ほか, 北海道大学学生会大 45 回学生員卒業研究発表講演会, 平成 28 年 3 月 7 日

6. 関連特許 (Patent)

なし