

ナノディスクアレイによるシリコン薄膜の近赤外領域光電流増強

Enhancement of photocurrent in the near infrared range by silicon nanodisk array

神戸大院工¹, JST さきがけ² ○山下 海渡¹, 長谷部 宏明¹, 雛本 樹生¹, 杉本 泰^{1,2},
藤井 稔¹

Kobe Univ.¹, JST-PRESTO² ○Kaito Yamashita¹, Hiroaki Hasebe¹, Tatsuki Hinamoto¹, Hiroshi Sugimoto^{1,2},
Minoru Fujii¹

E-mail: fujii@eedept.kobe-u.ac.jp

近年、半導体集積回路と融合可能なシリコンベースの近赤外検出素子の開発が活発に行われている。その代表的なものとして、シリコン表面に金属ナノ構造を形成したショットキー接合素子が挙げられる。この素子は、金属ナノアンテナ（主に金のナノ構造）の局在表面プラズモン共鳴による光吸収と、プラズモンの緩和によるホットエレクトロンの生成により機能し、金属ナノ構造の形状により共鳴波長を広範囲に制御できるという特徴を持つ。一方、金属ナノ構造を用いず、シリコン自体でナノアンテナを形成し、Mie 共鳴により近赤外領域の光吸収を増強するタイプの素子も報告されている。例えば、直径数ミクロンのシリコン球を用いて 1.5 μm 付近の狭帯域光検出が実現されている[1]。

我々のグループは、シリコンナノディスクを配列した誘電体メタサーフェスによる近赤外光吸収増強について研究を行ってきた。その過程で、厚さ数 10 nm のシリコンナノディスクの六方格子状アレイにおいて、各ナノディスクのトロイダル双極子共鳴の結合により、近赤外領域に狭帯域な吸収増強が発現することを見出した[2]。今回は、シリコンナノディスクアレイの光吸収増強を光検出素子の高感度化に利用することを目的に、光電流検出が可能な構造の検討を行った。

以前の構造では、シリコンナノディスクアレイをシリカ基板上に形成したが、今回は光照射による導電率変化を検出するため、シリコン薄膜上にシリコンナノディスクアレイを形成した。図 1(a)に作製した構造の模式図を示す。シリコン薄膜上に、直径 400 nm、高さ 30 nm のシリコンナノディスクを周期 500 nm で配列している。図 1(b)にナノディスクの形状と周期を固定してシリコン薄膜の厚さを変化させた場合の吸収スペクトルの計算結果 (FDTD) を示す。近赤外領域に共鳴的な吸収が現れており、共鳴波長はシリコン薄膜の厚さの増加とともに長波長側にシフトする。図 1(c)にシリコン薄膜の膜厚が 200 nm の場合について、波長 1281 nm の共鳴ピークにおける電場分布を示す。ディスクの形成により薄膜内部に強い電場増強が現れており、これが吸収増強の起源であることがわかる。図 1(d)に、実際に作製した素子の吸収スペクトルとバイアス電圧印加下の光電流スペクトルを示す。バルクシリコン結晶のバンドギャップ以下のエネルギー領域で、吸収増強による光電流増強が確認できる。

[1] M. Garín, et al., *Nat. Commun.* 5, 3440 (2014).

[2] H. Hasebe, et al., *Adv. Opt. Mater.* 8, 1 (2020).

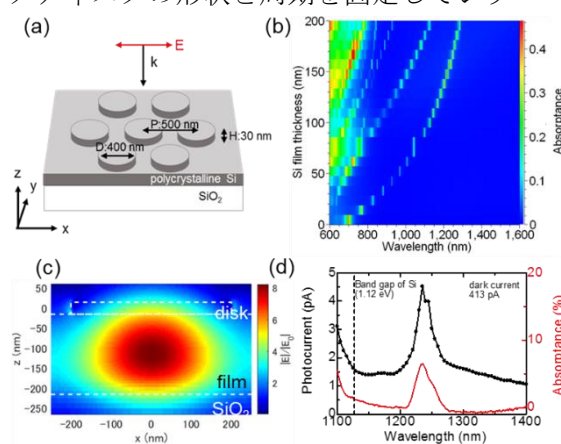


Figure 1. (a) Schematic of Si nanodisk hexagonal array on Si thin film. (b) Calculated absorbance as functions of wavelength and film thickness. (c) Electric field distribution at 1281 nm. Si film thickness is 200 nm. (d) Absorbance and photocurrent spectra.