微結晶シリコンを用いた光位相シフタ導波路の設計と製作

Design and fabrication of waveguide for optical phase shifter using μc-Si:H

東工大[1]，産総研[2] ○(M2)中島 雪暢[1]，庄司 雄哉[1]，武井 亮平[2]，水本 哲弥[1]，亀井 利浩[2]

Tokyo Tech[1], AIST[2], ◦Yukinobu Nakajima[1], Yuya Shoji[1], Ryohei Takei[2], Tetsuya Mizumoto[1], and Toshihiro Kamei[2]

E-mail: nakajima.y.am@m.titech.ac.jp

はじめに

大容量・低消費電力である光インターコネクトを実現するために、シリコンフォトニクス技術を用いた小型な光集積デバイスの研究がなされている。特にオンチップ光インターコネクトはチップ上の金属グローバル配線を光配線に置き換えることで広帯域な信号伝送を実現する。オンチップ光配線ではバックエンドプロセスでLSI上に三次元集積することが有効であるが、高温の処理を行うと金属配線が劣化するため温度の制約がある。低温で堆積できるa-Si:HやSi$_3$N$_4$などを用いた光導波路の報告があるが、導電率が低く光変調器や光スイッチといった光機能素子の実現には向いてない[1]。

そこで本研究グループではアモルファスシリコンと結晶シリコンの中間の性質を持つ微結晶シリコン(μc-Si:H)に注目した[2]。微結晶シリコンは H_2 で希釈された SiH_4 ガスを用いて PECVD によって低温で堆積することができ(200℃-250℃)、かつ a-Si:H と比べると導電率が高く(～10 S/cm)、能動素子として活用しやすい。さらに PH_3 ガスや B_2H_6 ガスを混入させることで堆積中にドーピングすることができるため、任意の積層型 p-i-n 構造を作製できる。今回、この微結晶シリコンを用いて光位相シフタの設計と導波路の製作を行ったので報告する。

微結晶シリコン位相シフタの構造

シリコンによる光位相シフタは、pin 接合のキャリア密度制御によりキャリアプラズマ効果で屈折率を変化させる。堆積と同時にドーピングできるという特徴を活用し、従来の水平方向の pin 接合による位相シフタではなく、積層型の導波路構造を持つ位相シフタを考える[3]。今回、図 1 に示すリブ型導波路構造を提案する。0.1μm の n 型微結晶シリコン、1.3μm の i 型アモルファスシリコン、0.1μm の p 型微結晶シリコンの順に積層された基板を用いて、導波路上部に溝構造をもっている。溝を入れることで光分布が上部電極から遠ざかるため損失を減らすことができる。シミュレーションにおいて、$V\pi L$=0.18 (V・cm)が見積もられた。

導波路の製作

導波路の製作ではマスクの開口幅によってエッチングレートが変化する RIE-lag という現象を用いて製作することを検討した。1.4μm の深堀りエッチングと、溝の形成を同時に行う必要があり、マスクとして Cr と SiO_2 の 2 つを検討した。Cr マスクは選択比をとれるが、SiO_2 マスクは側壁荒れを防ぐことができる。エッチングにおいて SF_6 ガスのガス圧を調整し、異方性を高めて選択比を上げることで、SiO_2 マスクで所望の導波路を製作することができた。図 2 のような構造を持つ、約 1.1μm の導波路を作製し、導波路の光伝搬を確認した。

今後、導波路に電極を付け、位相シフタの屈折率変化の測定を目指す。

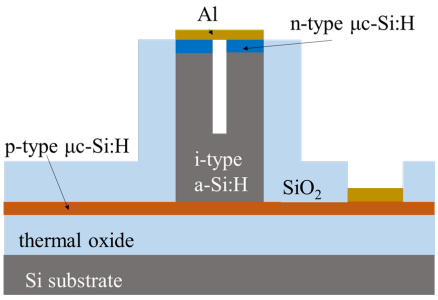

Fig. 1. Cross section of optical phase shifter using p-i-n diode structure.

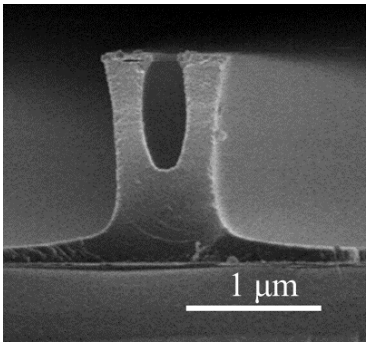

Fig. 2. SEM image of fabricated waveguide

参考文献

[1] S. Rao, and F. G. Della Corte, J. Lightw. Technol., **32**, 2399-2407 (2014).
[2] T. Kamei, Appl. Phys. Lett. **89**, 262121 (2006).
[3] R. Takei, et al., GFP2014, 239–240 (2014).

© 2021年 応用物理学会