

# Si集積光デバイスの研究 - 低損失窒化シリコン光導波路の作製とパッシブ光デバイスへの応用 -

豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系

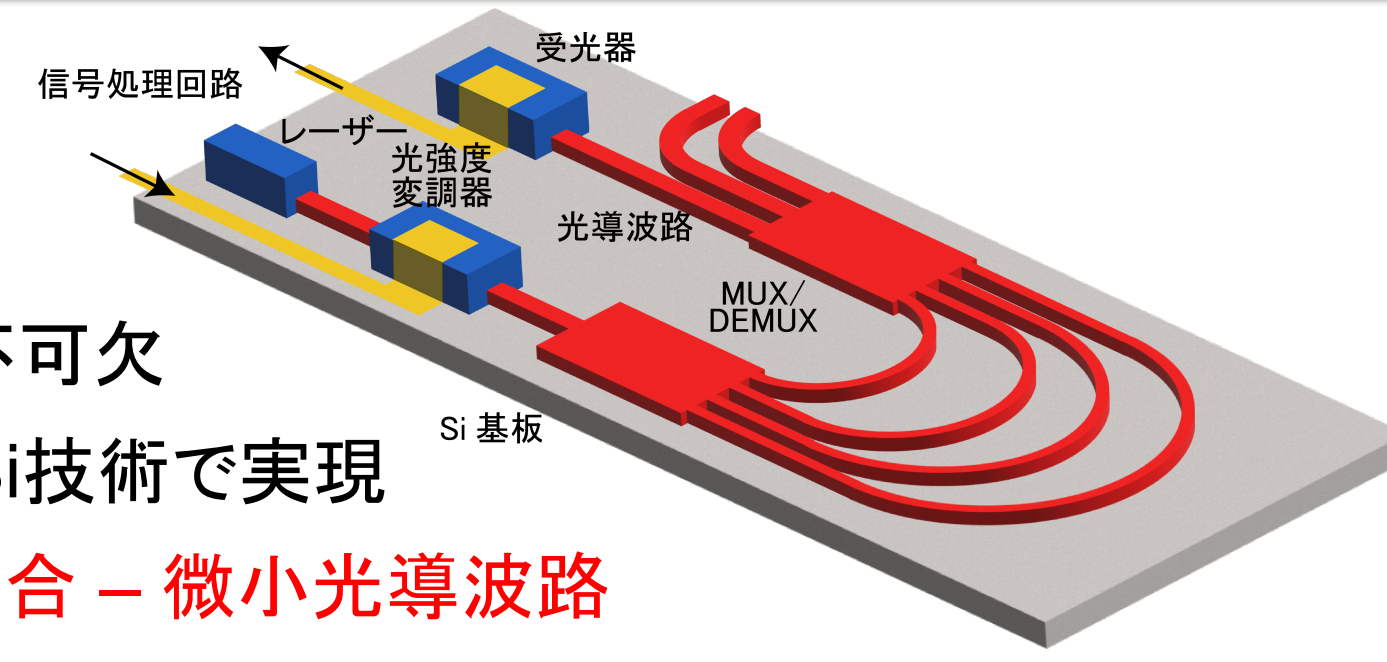
石川 靖彦 土谷 壘 福島 孝晃

E-mail: ishikawa@ee.tut.ac.jp

## 1. 背景

### ・光通信の短距離適用

- 通信の大容量化、低電力化に不可欠
- デバイスの低価格化も必要→ Si技術で実現
- Siチップ上の素子間の光学的結合 – 微小光導波路

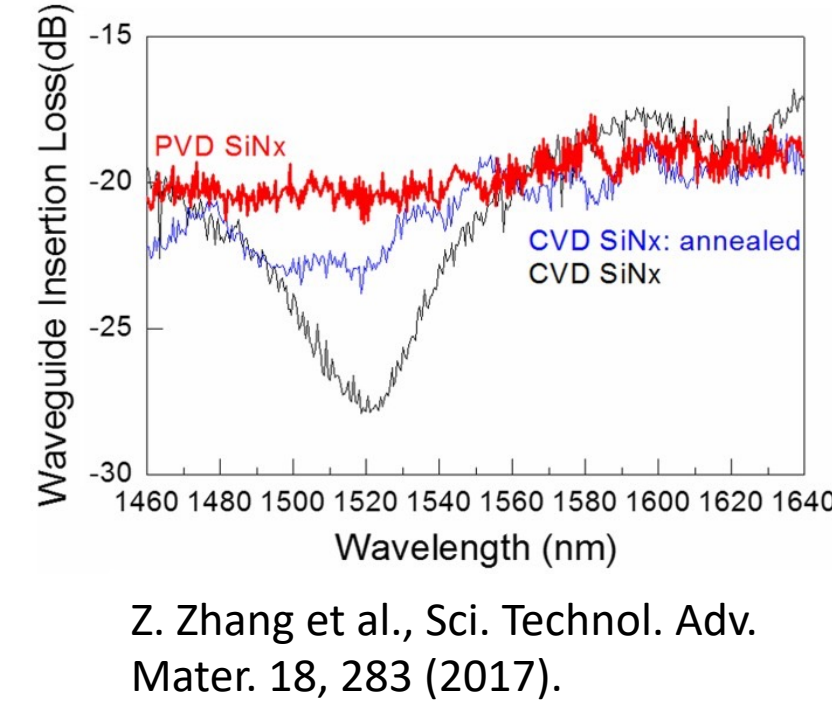


|            | 従来                                    | 本テーマ                                                                    |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 光導波路の構成    | SOI<br>SiO <sub>2</sub><br>Si<br>Siコア | 成膜<br>SiN <sub>x</sub><br>SiO <sub>2</sub><br>Si<br>SiN <sub>x</sub> コア |
| 熱光学係数[1/K] | $2.0 \times 10^{-4}$                  | $0.25 \times 10^{-4}$                                                   |
| 曲げ半径       | 数μm                                   | 20μm                                                                    |
| 加工精度       | 1nm程度                                 | 数nm程度                                                                   |

### ・SiN<sub>x</sub>の課題:N-H結合による光吸収損失

- LPCVDやPECVDでの成膜が一般的

| 成膜法                 | LPCVD   | PECVD           | 反応性スパッタ        |
|---------------------|---------|-----------------|----------------|
| 導波路サイズ<br>(μm × μm) | 1 × 0.4 | 0.7 × 0.4       | 0.9 × 0.6      |
| 伝搬損失<br>dB/cm       | 0.72    | 2.1             | 0.6            |
| 利点                  | 低損失     | 低い成膜温度          | 低損失,<br>低い成膜温度 |
| 欠点                  | 高い成膜温度  | 損失が大きい<br>N-H結合 | 堆積レート: 小       |



## 2. 目的

### ・SiN<sub>x</sub>膜の特性評価

- 赤外吸収スペクトル測定
- 分光エリプソメトリによる屈折率測定
- 熱光学係数の算出

### ・光導波路, パッシブ光デバイスの性能評価

- 光透過測定

## 3. SiN<sub>x</sub>膜の物性評価

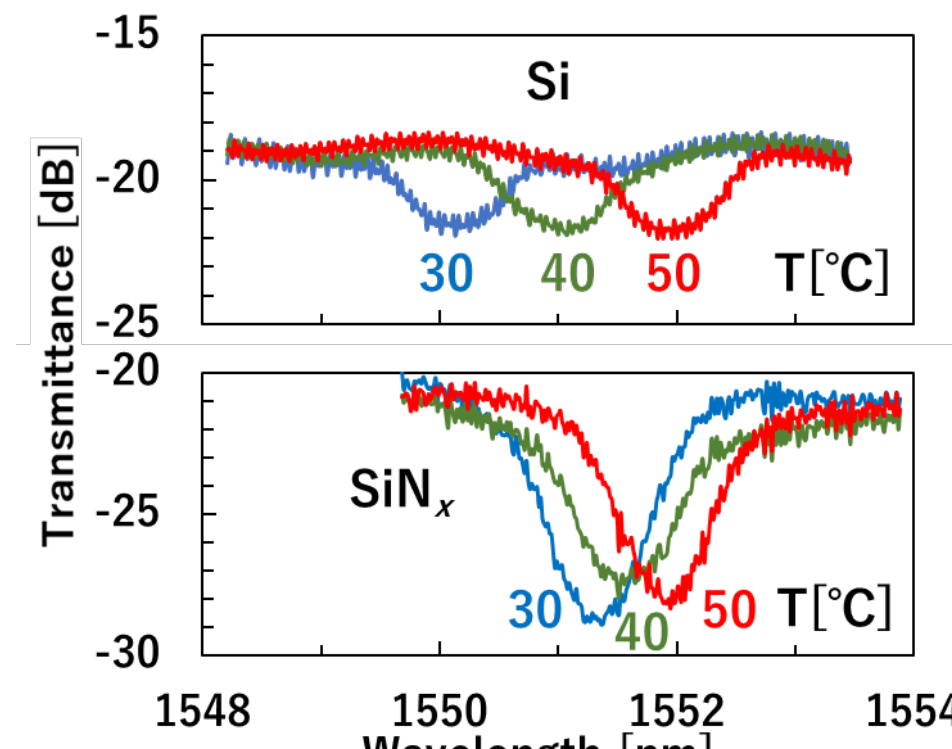
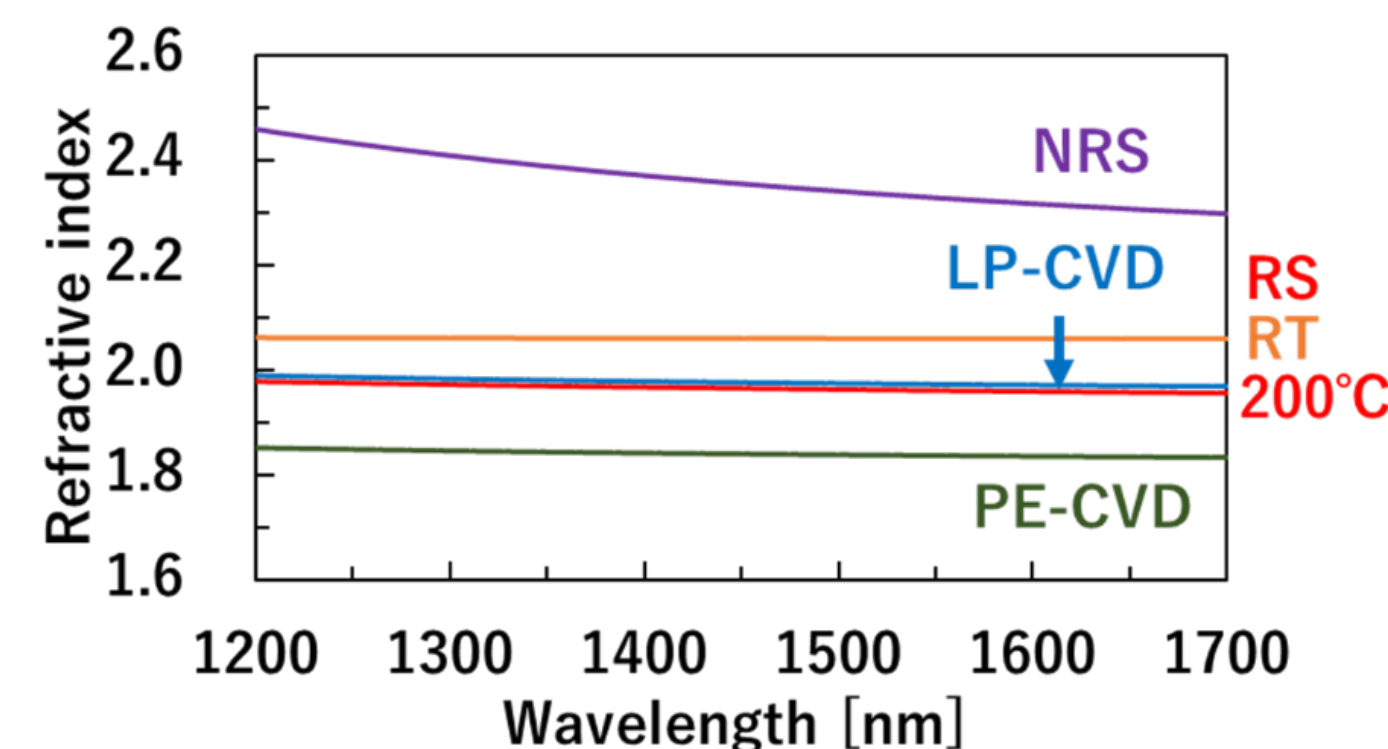
### ・評価サンプルと評価方法

- 分光エリプソメトリによる屈折率測定
- 熱光学係数の算出
- 赤外吸収スペクトル測定

| 堆積方法               | 堆積温度        | ターゲット                          | 反応ガス                                               | 堆積レート<br>[nm/min] |
|--------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|
| 反応性<br>スパッタ (RS)   | RT<br>200°C | Si                             | Ar + N <sub>2</sub>                                | 5.3<br>6.0        |
| 非反応性<br>スパッタ (NRS) | RT          | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | Ar                                                 | 6.3               |
| LPCVD              | 300°C       | -                              | SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub> | 82.6              |
| PECVD              | 820°C       | -                              | SiH <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub>                 | 57.5              |

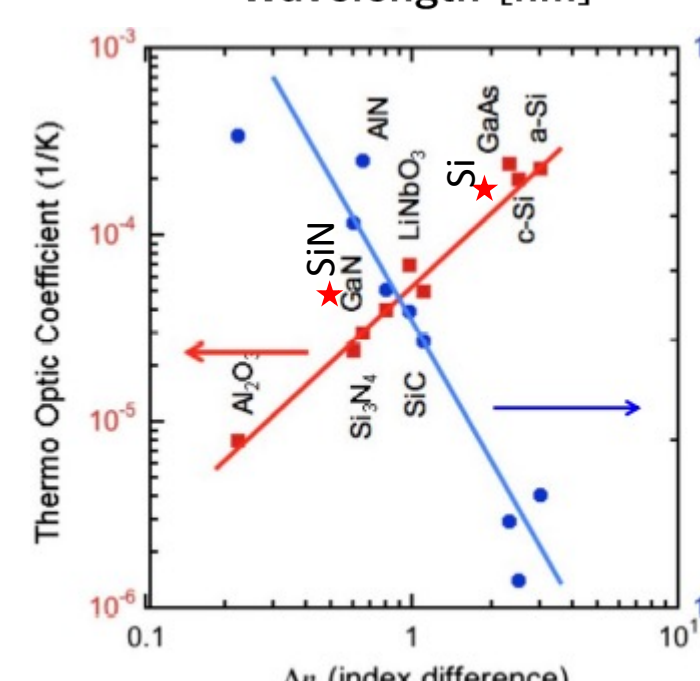
### ・分光エリプソメトリによる屈折率測定

- 反応性スパッタでLPCVDと同程度のSiN<sub>x</sub>を作製可能



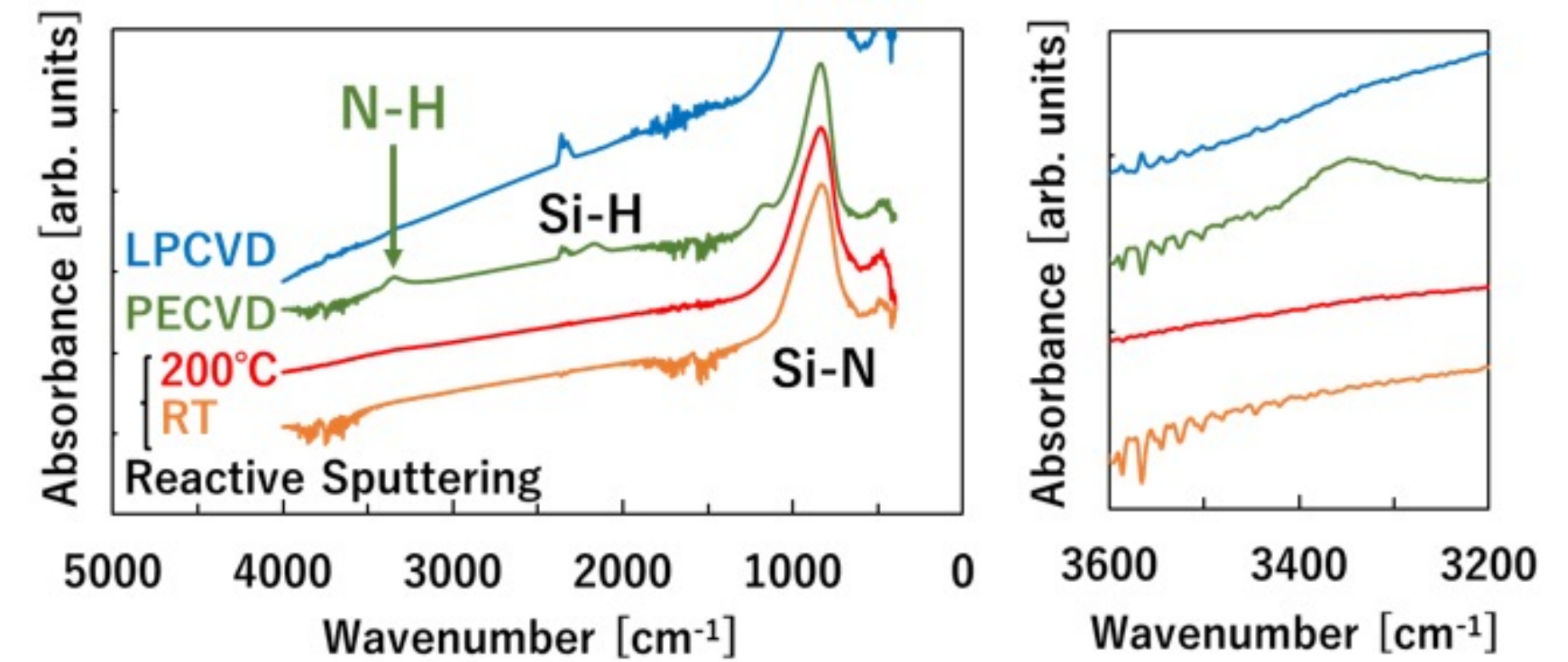
### ・熱光学係数の算出

- リング共振器の測定
- Si:  $1.88 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  > SiN<sub>x</sub>:  $0.47 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$
- SiN<sub>x</sub>光素子の動作は温度変化に強い



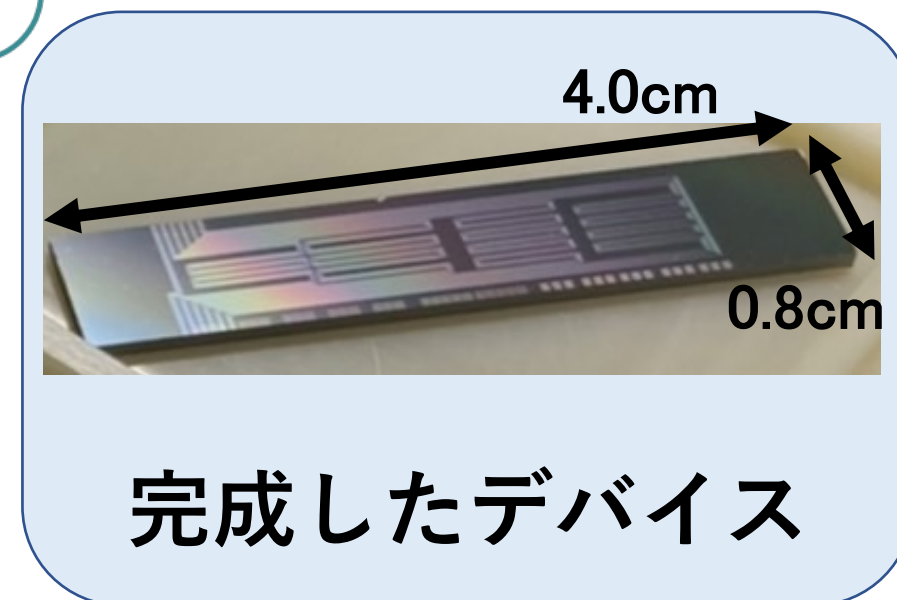
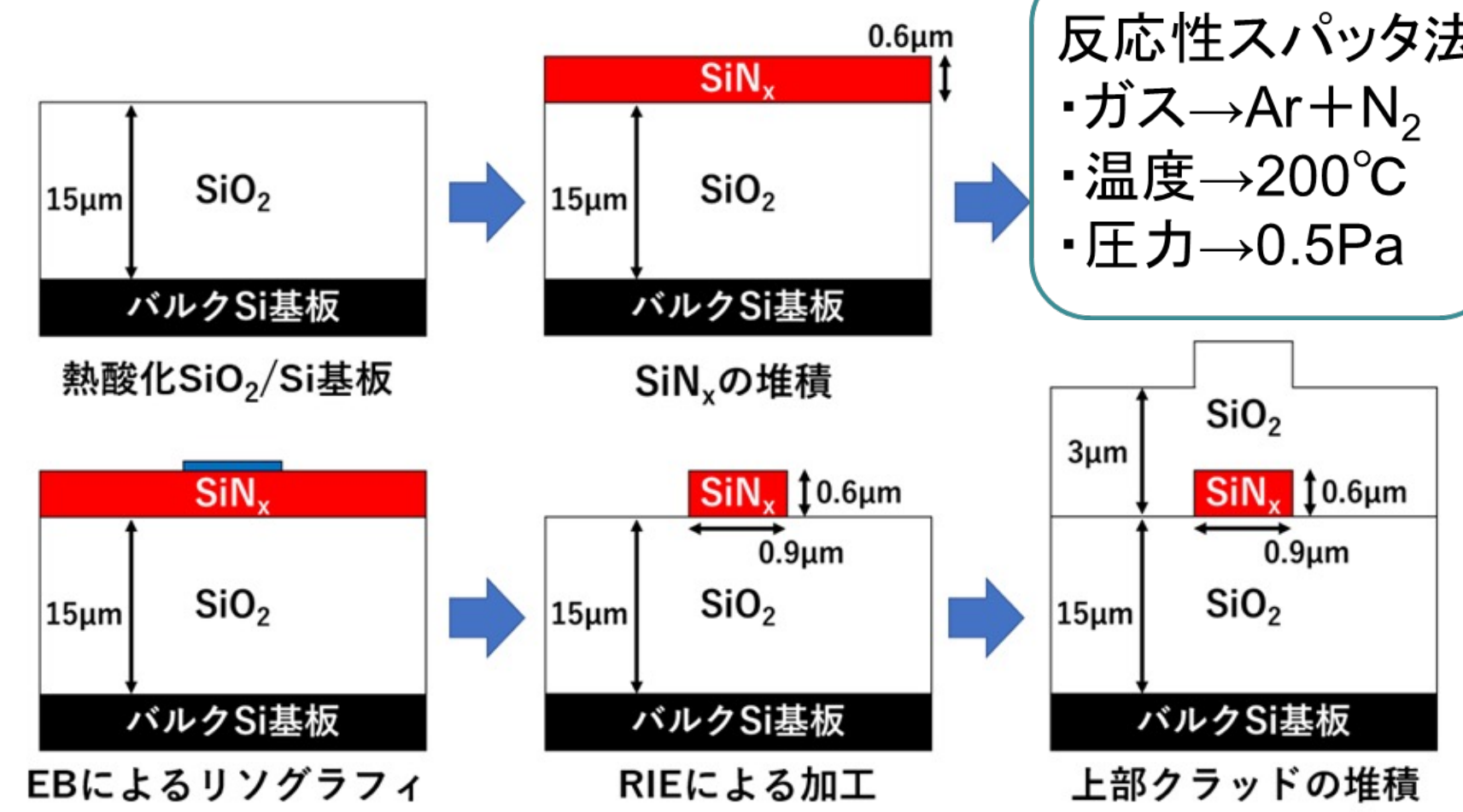
### ・赤外吸収スペクトル測定:N-H結合がないことの確認

- LPCVD, PECVD → N-H結合のピークあり  
→ N-H結合を含んでいる
- 反応性スパッタリング → N-H結合のピークなし  
→ N-H結合を含んでいない

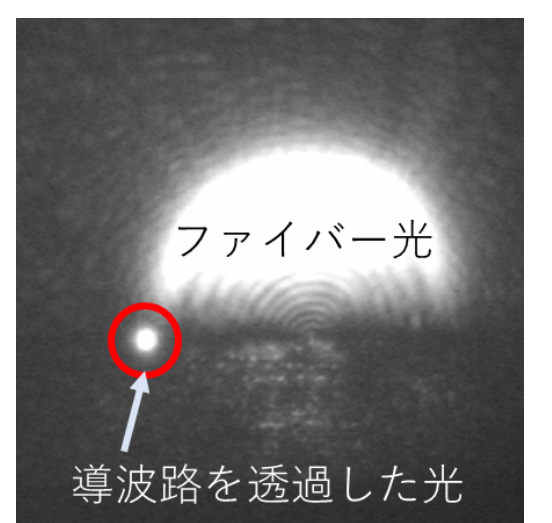
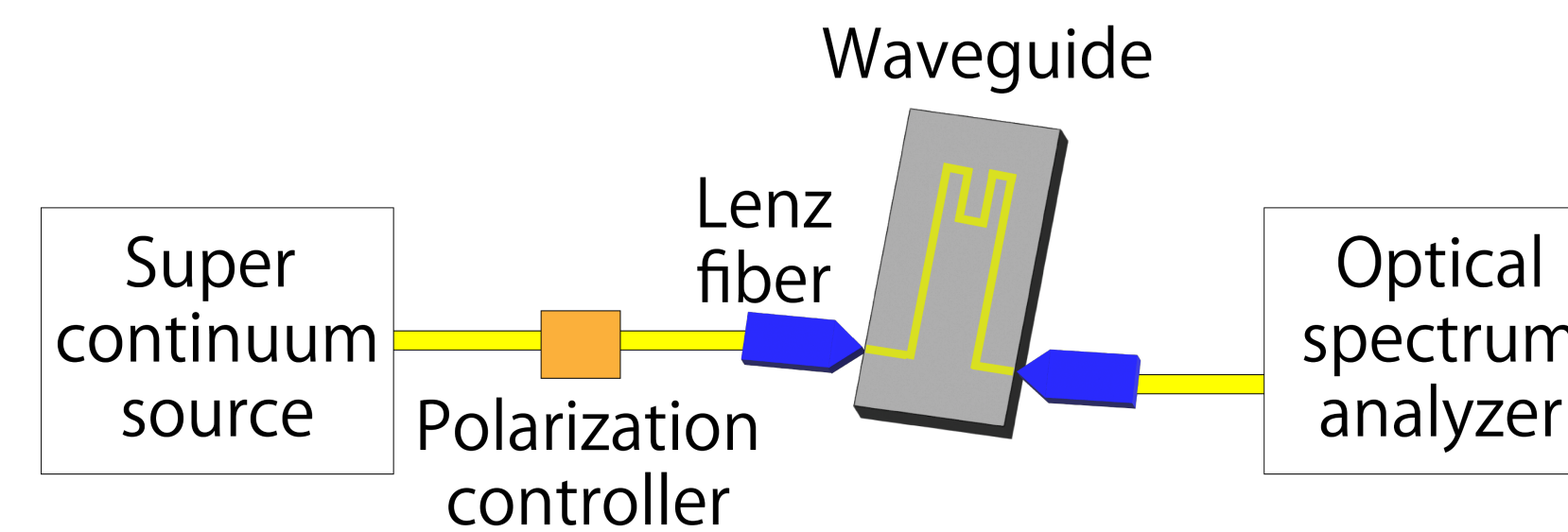


## 4. 光導波路とパッシブ光デバイスの評価

### ・作製プロセス

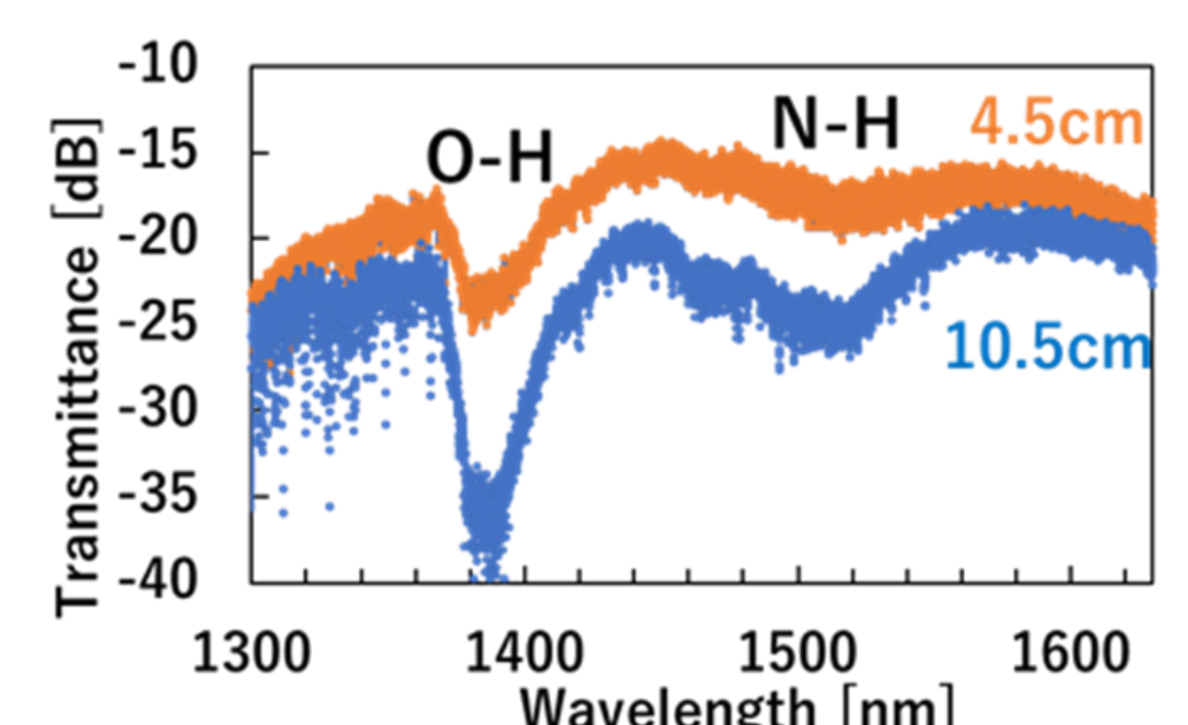
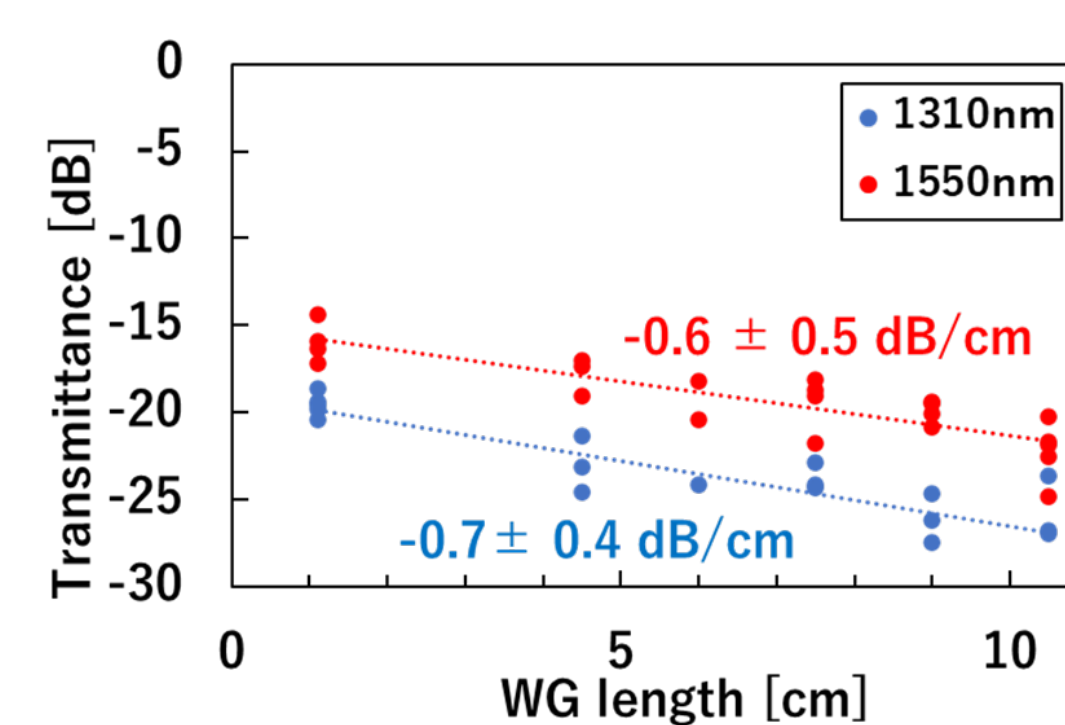


### ・使用した測定系



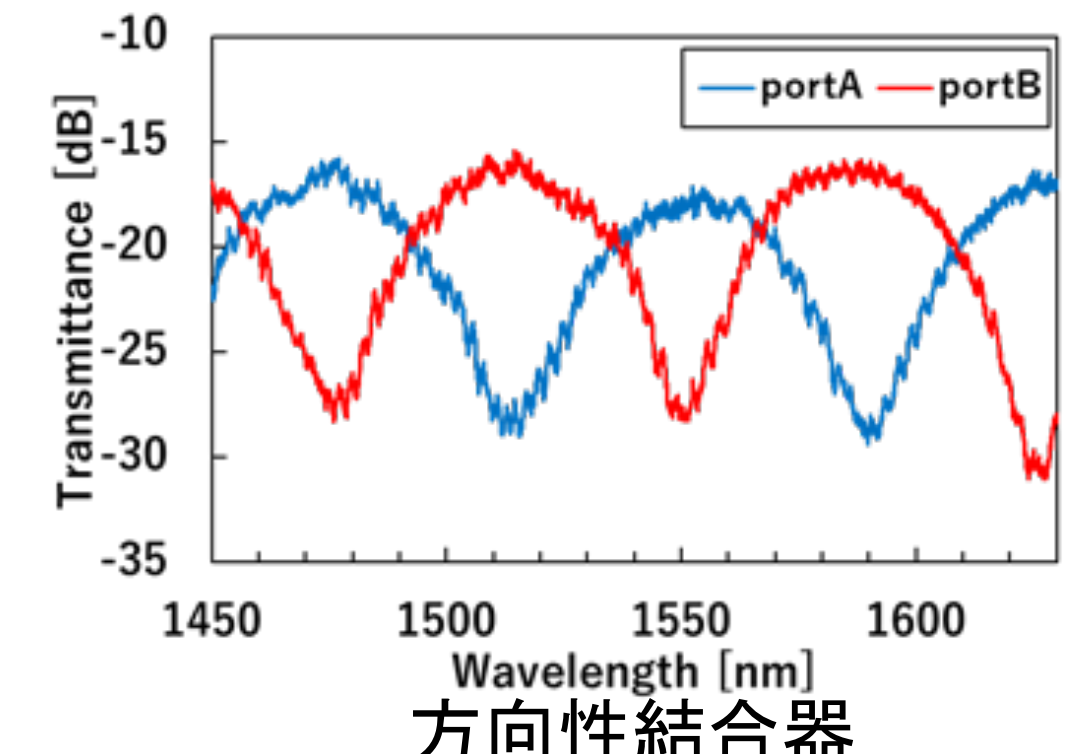
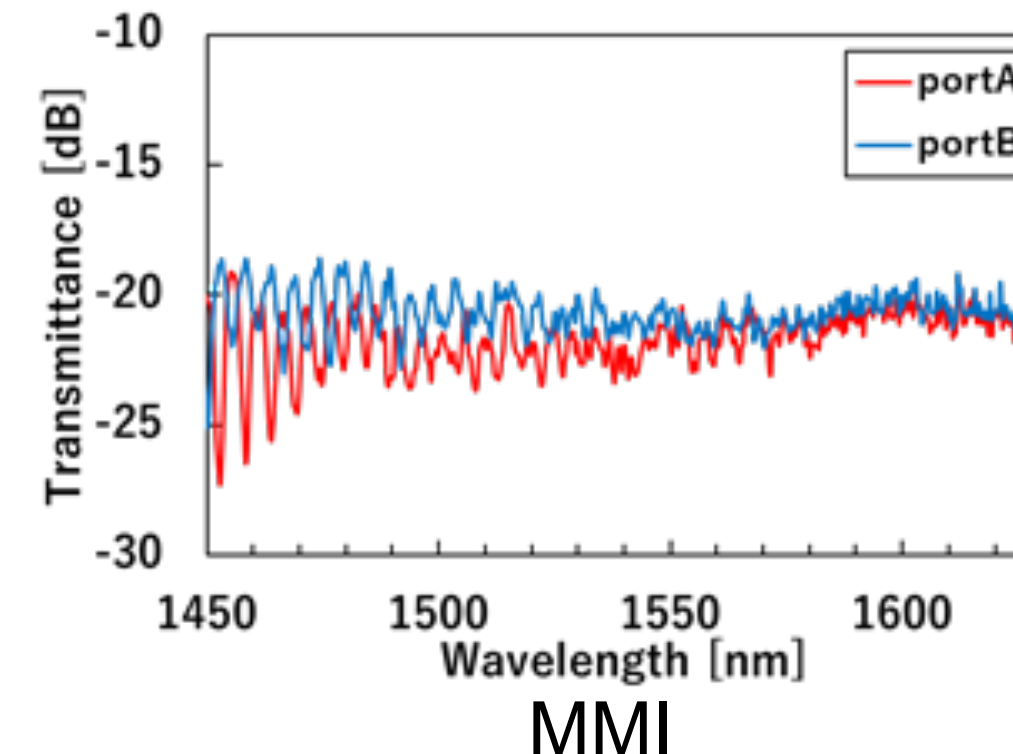
### ・測定結果

- 光導波路の伝搬損失  
□ 1550nmで0.6dB/cm, 1310nmで0.7dB/cm



### □ 合分波素子

- マルチモード干渉 (MMI) 分岐素子: C, L帯波長で3dB分割動作
- 方向性結合器: S, C, L帯波長で分波動作



## 5. まとめ

### ・SiN<sub>x</sub>膜の特性評価

- N-H結合なし, 化学量論的な窒化シリコンに近い屈折率
- 温度変化に強い

### ・光導波路, パッシブ光デバイスの性能評価

- 低い伝搬損失: 0.6~0.7dB/cm
- 合分波素子の正常な動作を確認

## 謝辞

- ・ SUMCO 中井哲弥 様