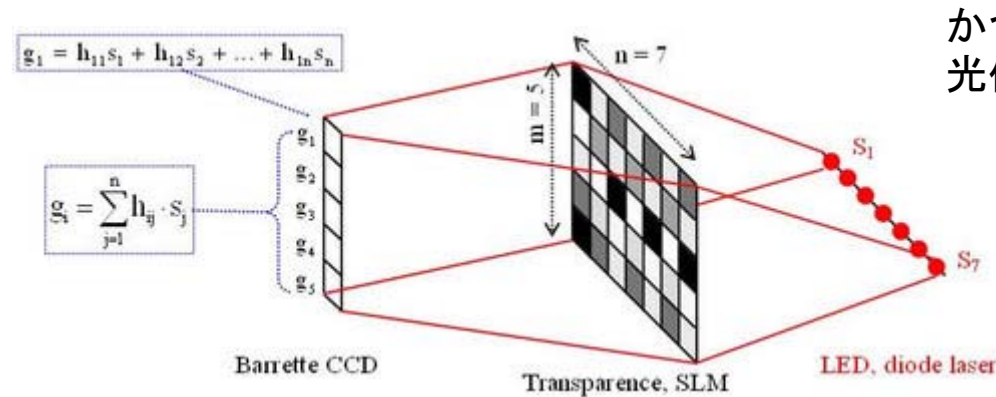


光NN研究の進め方に関する相談

— 波長多重NNとコヒーレントNNについて —

SLM-based Matrix-Vector Multiplier (incoherent)



かつて精力的に使われていた空間
光伝搬による積和演算器

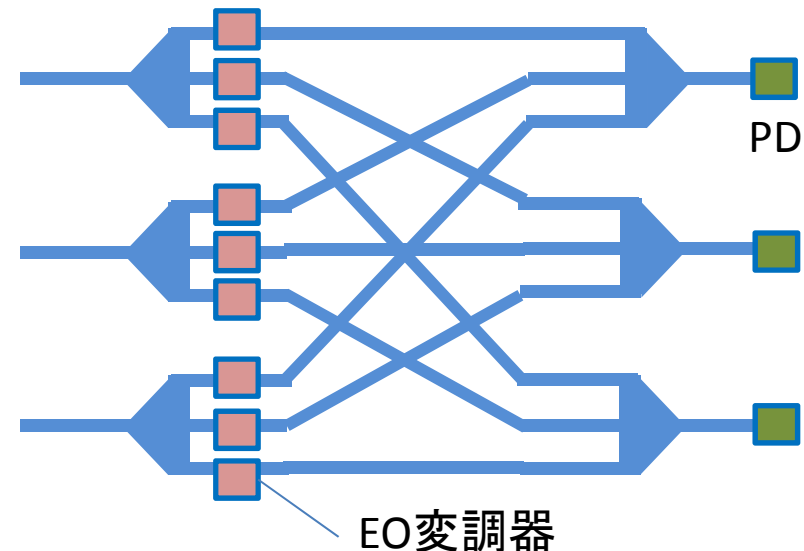
- ・重みは強度変調器で調整
- ・和はPDで電気信号として発生
- ・積和演算は**光速化可能**

インコヒーレントな光NN

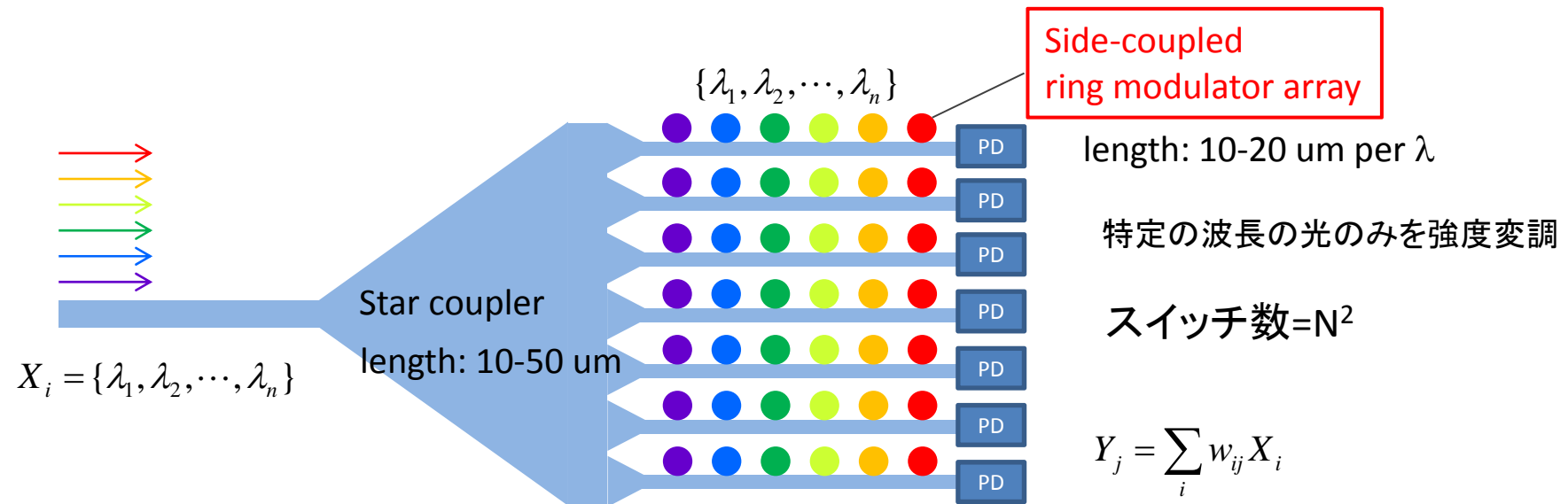
ただしナノ光回路化するのは困難

- サイズが大きくなってしまい、集積化が困難
- 1層ごとにOE変換が必要となる
- 光の強度信号(正值のみ)を使ったNN

無理やり平面光回路上に実装すると
右の図のようになり複雑化



WDM Matrix-Vector Multiplier (incoherent)



- 片方の次元を波長におきかえて、波長選択型変調器アレイを使う
→ 回路としては著しく小型化でき、低遅延化も可能(ナノフォトに適合)
- 共振器による遅延は、各波長で共振器一個分のみ
- 最終的には100-200波長くらいまで可能だろう

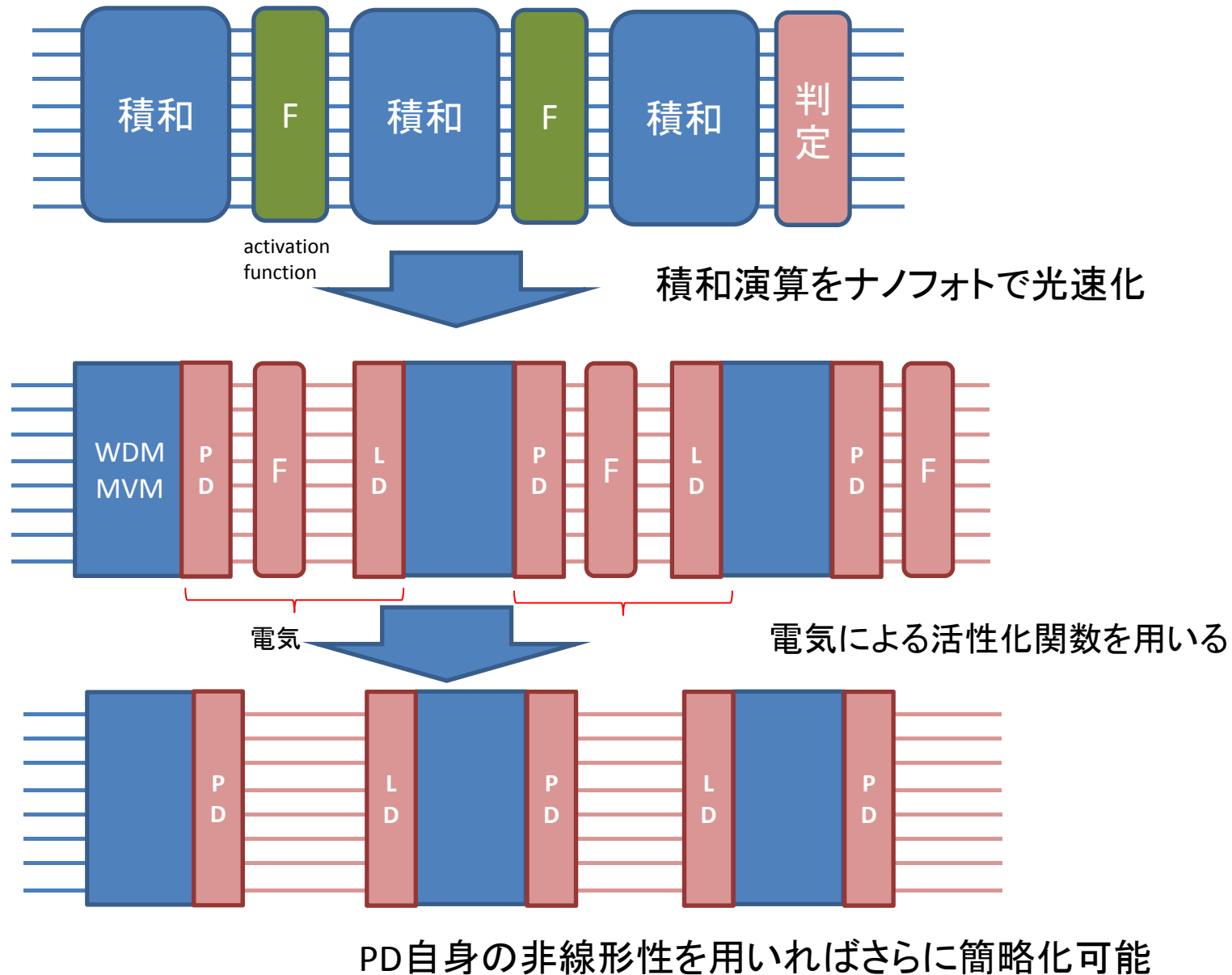
実験の想定) 10波長(20波長) $Q=2000$ 波長間隔 5 nm、素子間隔 20 μm
 全長 = 250 μm (450 μm)

共振器遅延 = 2 ps

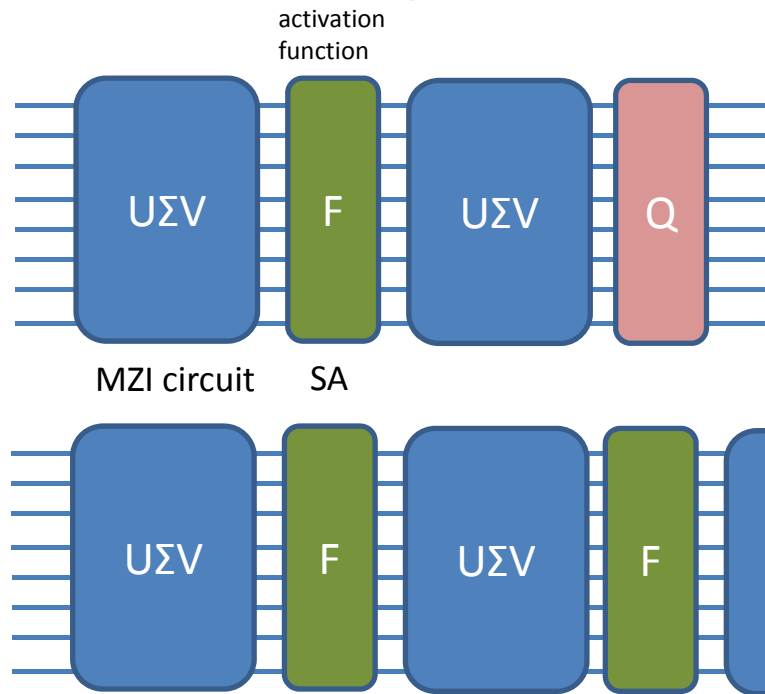
全遅延 = 4.5 ps (6.5 ps)

パス遅延 = 2.5 ps (4.5 ps)

Incoherent photonic NN by WDM M-V multiplier



Coherent NN by MZI circuit



単なる光NNとしてみると、SLM-NN等と比べて、過剰に回路が複雑化（本当に意味があるのか？）



しかし、MZIは初めてコヒーレントNNを実現する物理系になるかもしれない

コヒーレント積和にはMZI回路($U\Sigma V$)が必要 → 作製難易度大、回路サイズ大

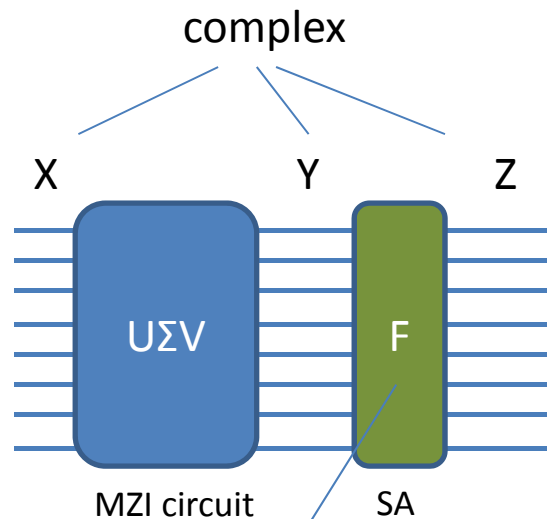
メリットは、(1) 全光化（完全光速演算）(2) 複素数の積和演算

要検討事項：全光化は可能か？（OE/EO変換が入るなら、インコヒーレントNNの方が優位？）

複素数の積和演算のメリットを出せるか？

（原理的には複素数空間をつかえた方が学習が速いはずだが・・・）

複素数による階層型NN



正実数に対する非線形関数

積和演算

$$Y_j = \sum_i w_{ij} X_i$$

→複素数演算

活性化関数

$$z_j = f(|Y_j|) e^{i\phi_{Y_j}}$$

→正実数関数
位相は不変とする

勾配降下法

$$w_{ji} \leftarrow w_{ji} - \alpha \frac{\partial L_p}{\partial w_{ji}}$$

複素数空間で降下する

誤差関数は実数

$$L_p = \frac{1}{2} \sum_j |t_{pj} - Z_{pj}^{out}|^2$$

ターゲット値

出力

想定される束縛条件

- X_i の初期値は位相ゼロにそろえる
- 必要があれば出力層におけるYの位相もゼロにフィックスする
- SAで位相は不変とし、位相が変わるのはU, Vのみとする。
- ターゲット値を実数にしても構わない(たぶん、その方が現実的)

■インコヒーレント光NNに関して

OE/OE変換を伴う光NNに関しては、WDMN-NNを検討する価値がある。
積和演算のみを光化するNNとしてはMZI-NNよりも有望。

要確認事項

- ・実数正值だけを使うNNで意味のあるNN演算を実現できるか？
 - 活性化関数は電氣的に実現できるものでよい
 - PDの飽和はおそらく $\tanh(ax)$ 的な関数になる
- ・電気NNに比べたときの定量的優位性を推定できるか？

■コヒーレント光NNに関して

MZI-NNはコヒーレントNNを初めて実現する物理系。
全光化と複素数演算が特徴

要確認事項

- ・コヒーレントNN自体が未開拓領域のようなので、その特徴を明らかにする
- ・全光NNがメリットを持つアプリケーションはあるか？
- ・NNの複素数化は可能か、メリットはあるか？

補足

デバイス的には両者それぞれに特徴があるので、それぞれが向いているアプリがある、という結論が望ましい(デバイスチームからは)