

# フォトニック結晶/量子ドット材料を利用した 小型集積光導波路回路の ピコ秒高速応答特性評価研究

2008/04/04

木村・一色研、上野研合同セミナー

上野研究室 修士2年 本間 正徳

Ferran Salleras、坂口 淳、上野 芳康

# 発表内容

---

- 背景
- 目的
- サンプルの概要
- 実験構成
- 測定方法
- 結果
- まとめ

# 背景：全光通信に向けてのデバイス開発

現在：光 電気 光変換をする為、処理速度に限界 (40Gb/s)

通信の**高速化**、**大容量化**の需要大

将来(全光通信)：光 光変換による処理速度の限界突破 (40Gb/s以上)

全光スイッチングデバイス

特徴：小型・集積化、超高速動作、低エネルギー動作

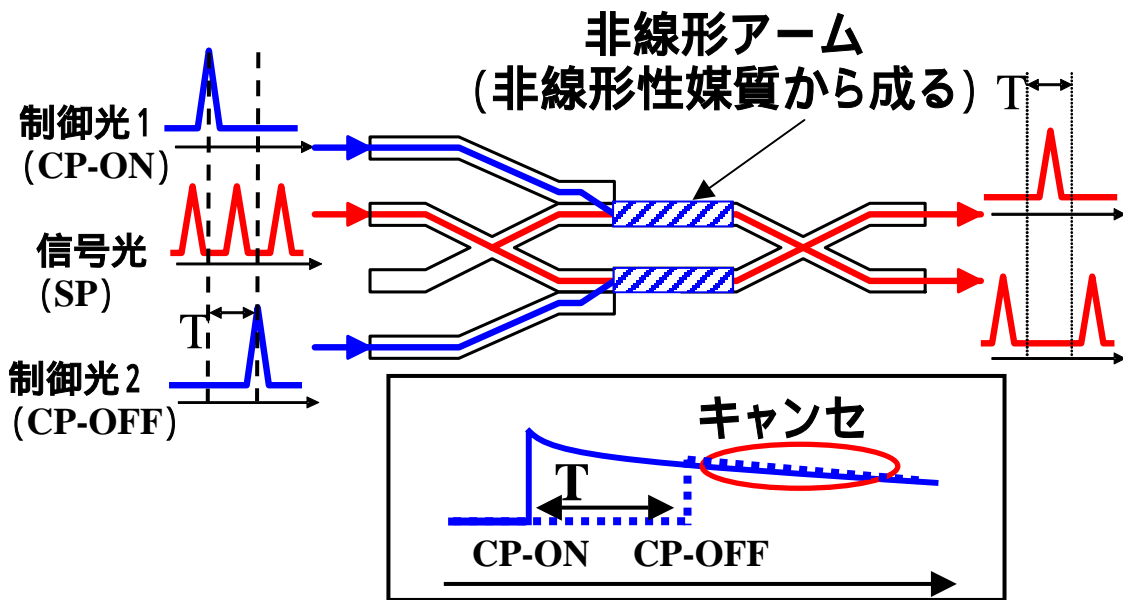
**フォトニック結晶(PC)**、**量子ドット(QD)**が注目

{ PC: 強い光閉じ込め効果、スローライト効果

{ QD: 低飽和エネルギー

e.g. PCとQDを融合させた(PC/QD)ナノ構造光導波路

# 背景: 全光スイッチ



## 対称マッハツェンダ型 (SMZ) スイッチの原理

K. Tajima, JJAP, 1993.

制御光 (ポンプ光) が非線形アームにおいて吸収され、屈折率変化が生じる

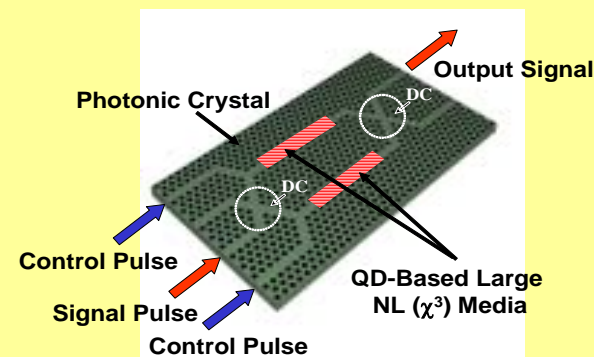


信号光 (プローブ光) の位相 $\phi$ が変化する

## PC/QD-SMZ

- ・超高速動作  $\sim$ ps,  $\geq$  40Gb/s
- ・超低エネルギー動作  $\sim$ 100fJ
- ・小型・集積化光回路

500 $\mu$ m  $\times$  500 $\mu$ m



H. Nakamura *et al.*, Opt. Exp. 12, 6606, 2004.



## PC/QD-FF (Flip-Flop)

K. Asakawa *et al.*, New J. Phys. 8, 208, 2006.

# 目的

PC/QDを用いた全光スイッチ実用化に向けて、  
超高速・超低エネルギー動作における  
PC/QD光導波路のキャリアの振る舞いを解明する



- 実験装置の構築 (ヘテロダイン方式)
- 強度変化・位相シフト量の測定

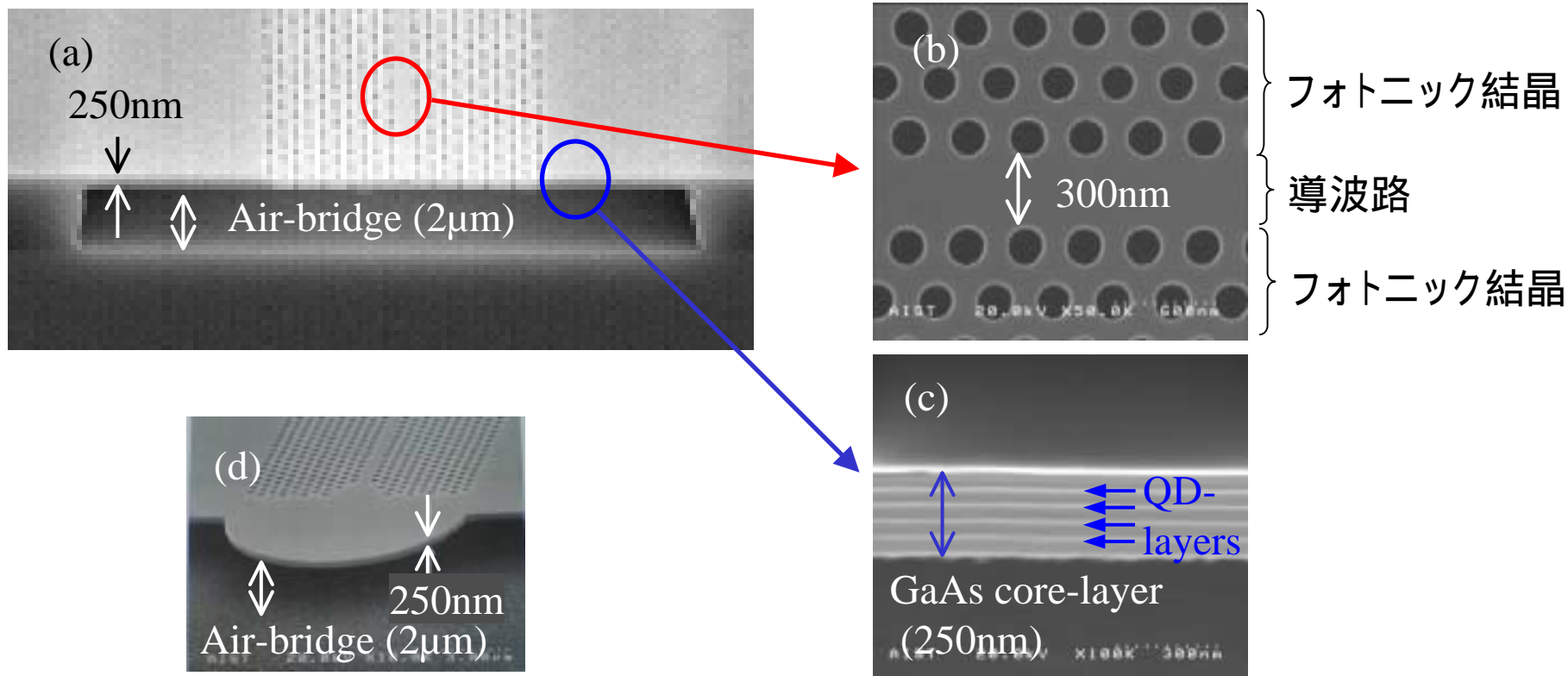


***FUTURE***



PC/QD-SMZ や -FF 回路における超高速・超低エネルギー動作の実現  
10fJ/pulse で動作する40-Gb/s 光メモリ

# サンプルの概要



## 2次元 PC (GaAs) と QD (InAs) を融合させたエアブリッジ型光導波路

(a) 入出力ポート(旧サンプル)

(b) サンプルの表面: 空気孔 (半径: 110nm) 中に線欠陥 (導波路) を持つ

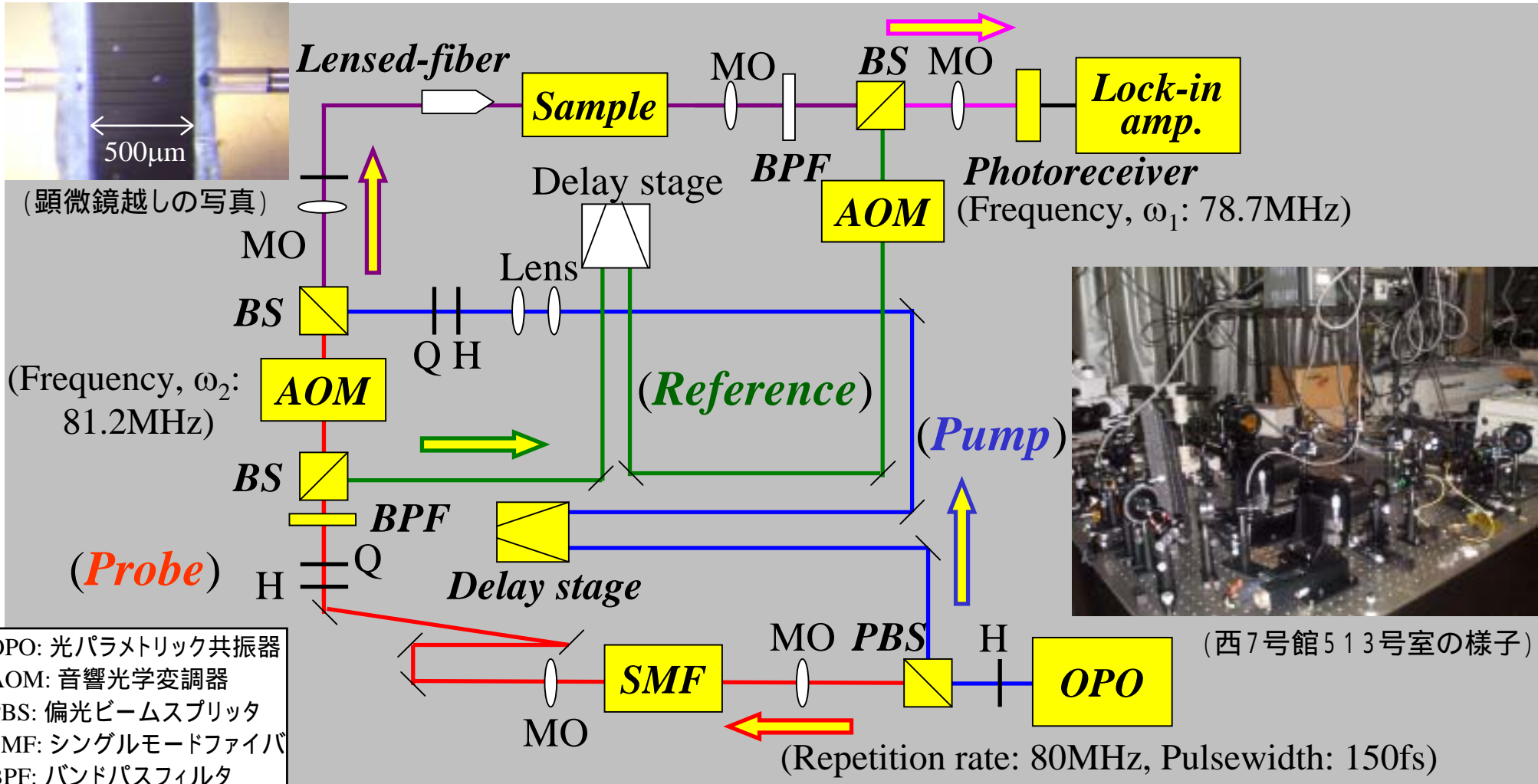
(c) サンプルの断面: 各層のドット密度は  $4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$

(d) 入出力ポート(新サンプル): レンズ + テーパー型構造

(SEMによる写真、提供: 筑波大TARAセンター)

\* ダメージ閾値: 2 ~ 3mW

# 実験構成

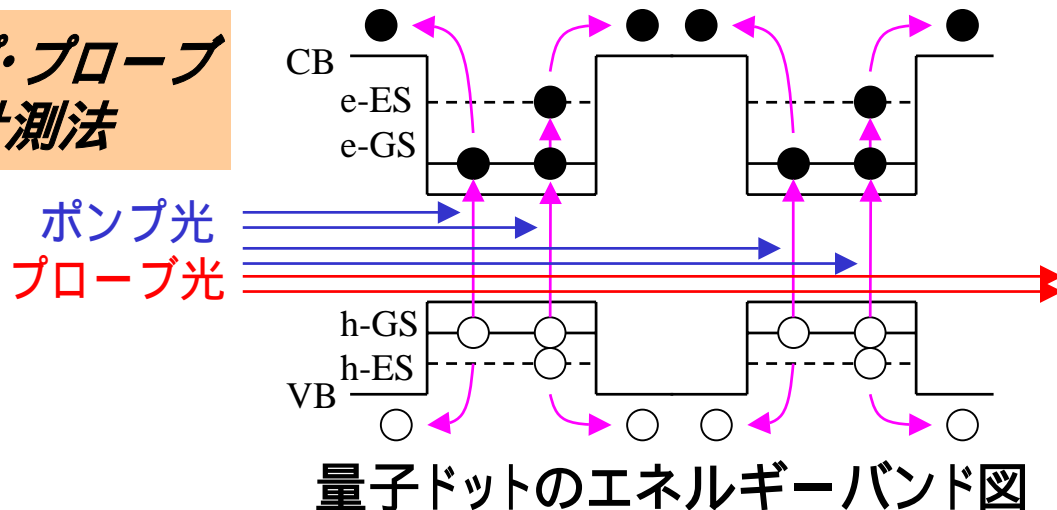


OPO: 光パラメトリック共振器  
 AOM: 音響光学変調器  
 PBS: 偏光ビームスプリッタ  
 SMF: シングルモードファイバ  
 BPF: バンドパスフィルタ  
 MO: 対物レンズ  
 H:  $\lambda/2$ 波長板  
 Q:  $\lambda/4$ 波長板

2色サブピコ秒ヘテロダイン方式ポンプ・プローブ計測法の構成図

# 測定方法

## ポンプ・プローブ計測法



## ポンプ光の条件

波長: QDの吸収ピーク波長  
 パワー: プローブ光より大

e: 電子、h: 正孔  
 GS: 基底準位、ES: 励起準位  
 CB: 伝導帯、VB: 価電子帯

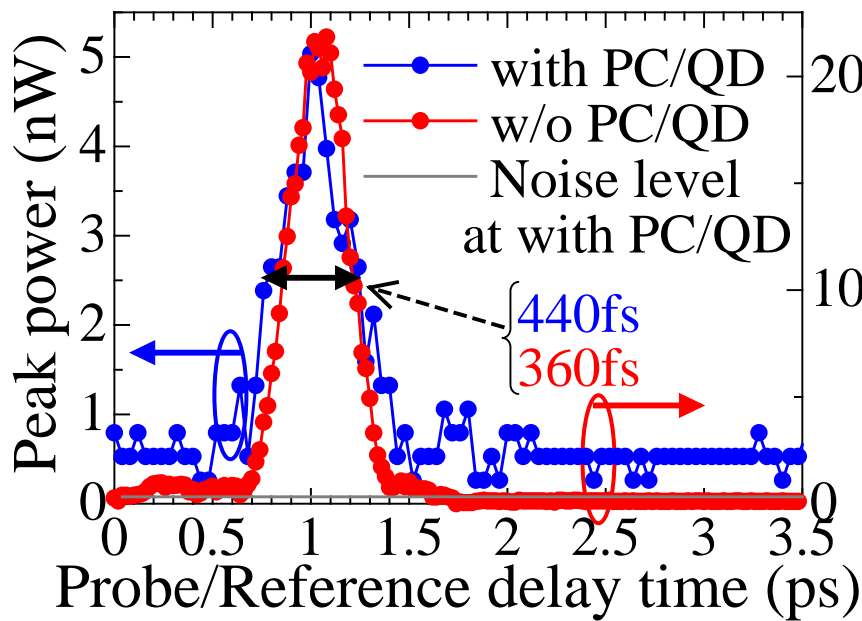
## ヘテロダイン方式

$$\begin{cases} E_{ref} = \sqrt{P_{ref}} \cos\{(\omega + \omega_1)t\} & \dots\dots\dots \text{参照光} \\ E_{pro} = \sqrt{P_{pro}(t, P_{pump})} \cos\{(\omega + \omega_2)t + \phi(t, P_{pump})\} & \dots\dots \text{プローブ光} \\ I_{beat} \propto (E_{ref} + E_{pro})^2 & \dots\dots \text{プローブ 参照光間のビート信号の強度} \\ \longrightarrow I_{beat} \propto \sqrt{P_{ref}} \sqrt{P_{pro}(t, P_{pump})} \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + \phi(t, P_{pump})\} \end{cases}$$

上式より  $P_{pro}(t, P_{pump})$ 、 $\phi(t, P_{pump})$  がポンプ光に依存  
 ポンプ光とプローブ 参照光間のビート信号を干渉させる事により、  
 強度変化と位相シフト(屈折率変化)量を同時に観測可能  
 今回はAOMの周波数 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ を各々78.7MHz、81.2MHzに設定した



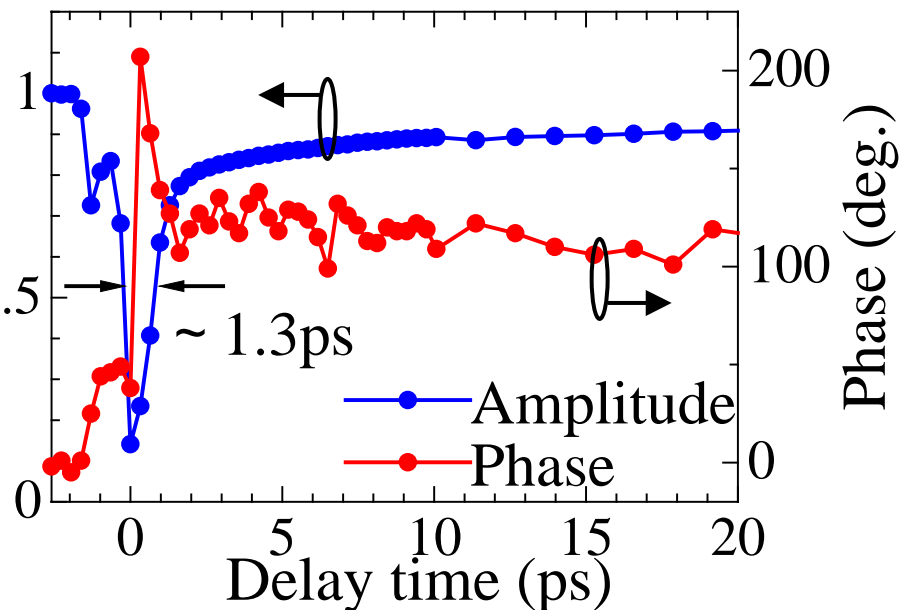
# 結果：実験装置の性能



プローブ-参照光間における  
時間パルス幅

時間分解能: ~ 440fs  
ダイナミックレンジ: 9 ~ 15dB

Peak power (nW)  
Normalized amplitude (a.u.)



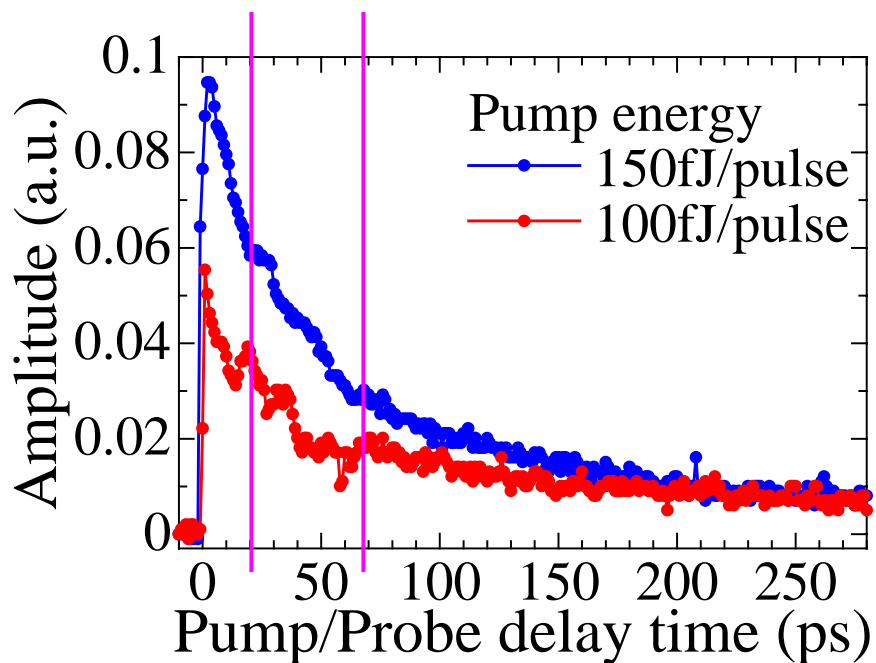
SOAの強度と位相シフト量

1.3 $\mu$ m-SOA (InPhenix) @ 150mA

$\tau_{\text{phase}} = \sim 300\text{ps}$

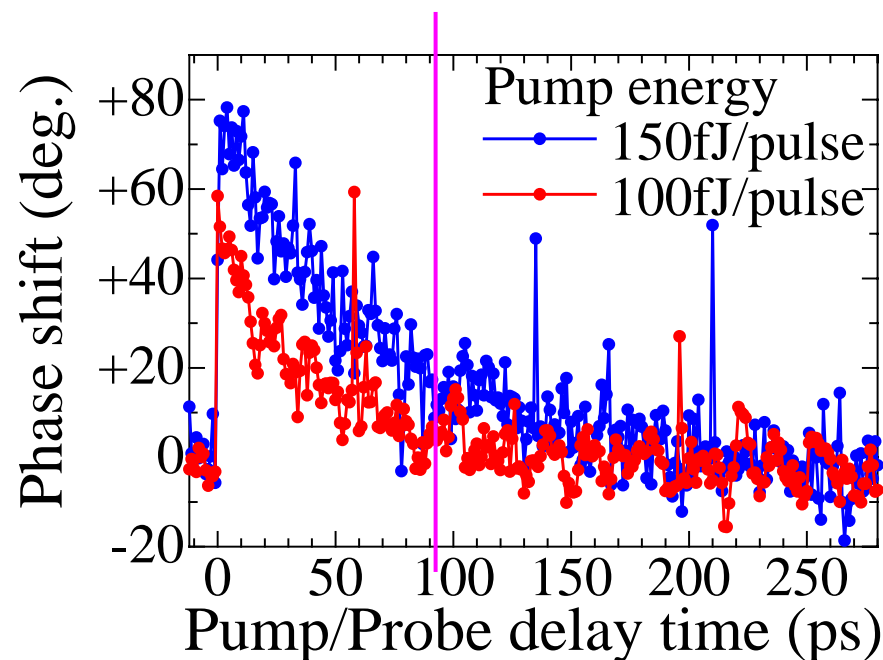
ポンプ光: 1.25pJ/pulse @ 1310nm  
プローブ光: 20fJ/pulse @ 1330nm

# 結果：キャリアダイナミクス(強度、位相シフト量)



強度変化

緩和時間 : 18ps + 30ps + 80ps  
緩和時間 : 13ps + 23ps + 115ps



位相シフト量

緩和時間 : 60ps + 90ps  
緩和時間 : 40ps + 100ps

ポンプ光ー波長 : 1300nm、入力パワー : 150fJ/pulse、100fJ/pulse  
プローブ光ー波長 : 1310nm、入力パワー : 7.5fJ/pulse

# まとめ

目的: 実験装置の構築、PC/QD光導波路の測定

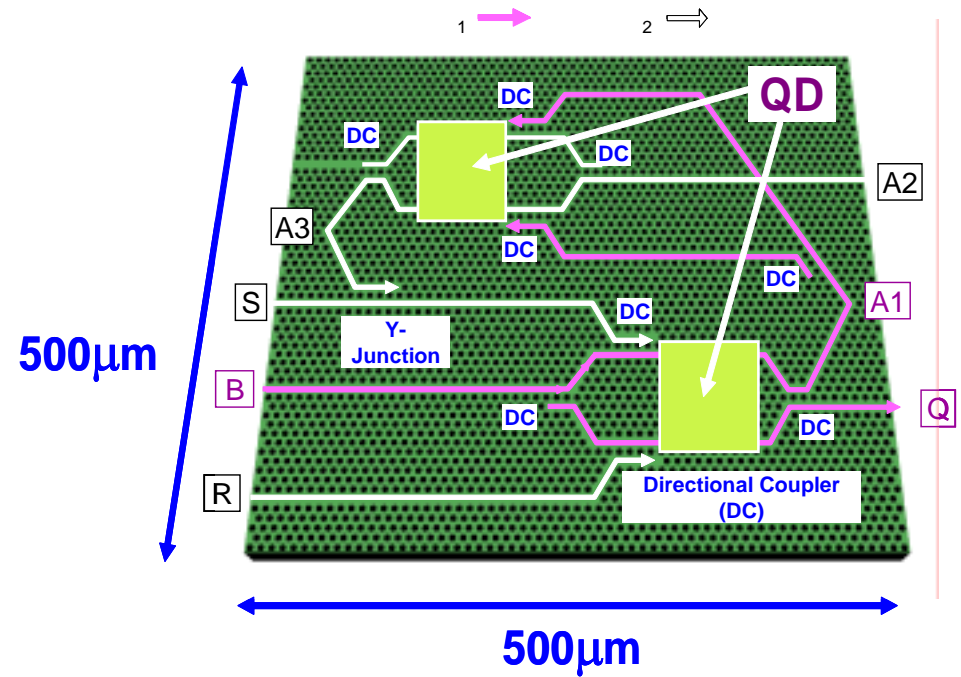
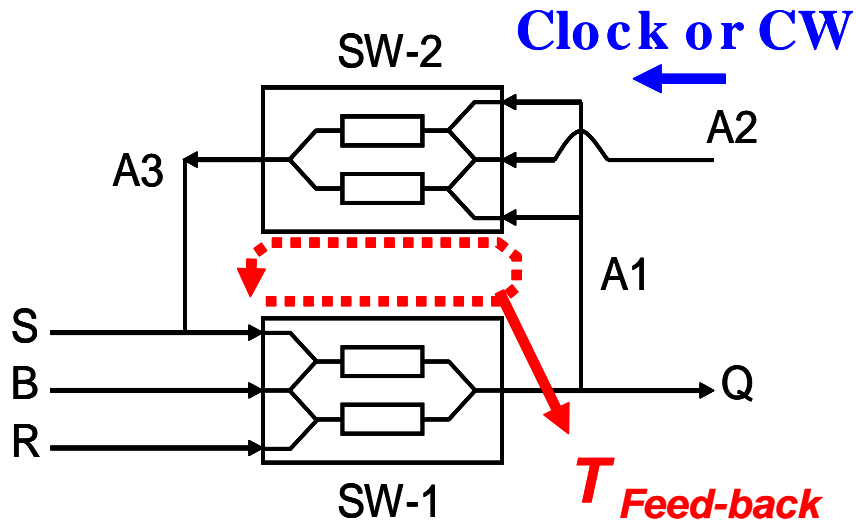
- 実験装置: 時間分解能 **~ 440ps**  
の性能    ダイナミックレンジ **~ 10dB**
- 動作結果: 強度変化    3つの緩和時間領域の確認  
位相シフト量    当研究室において**初**

今後の課題

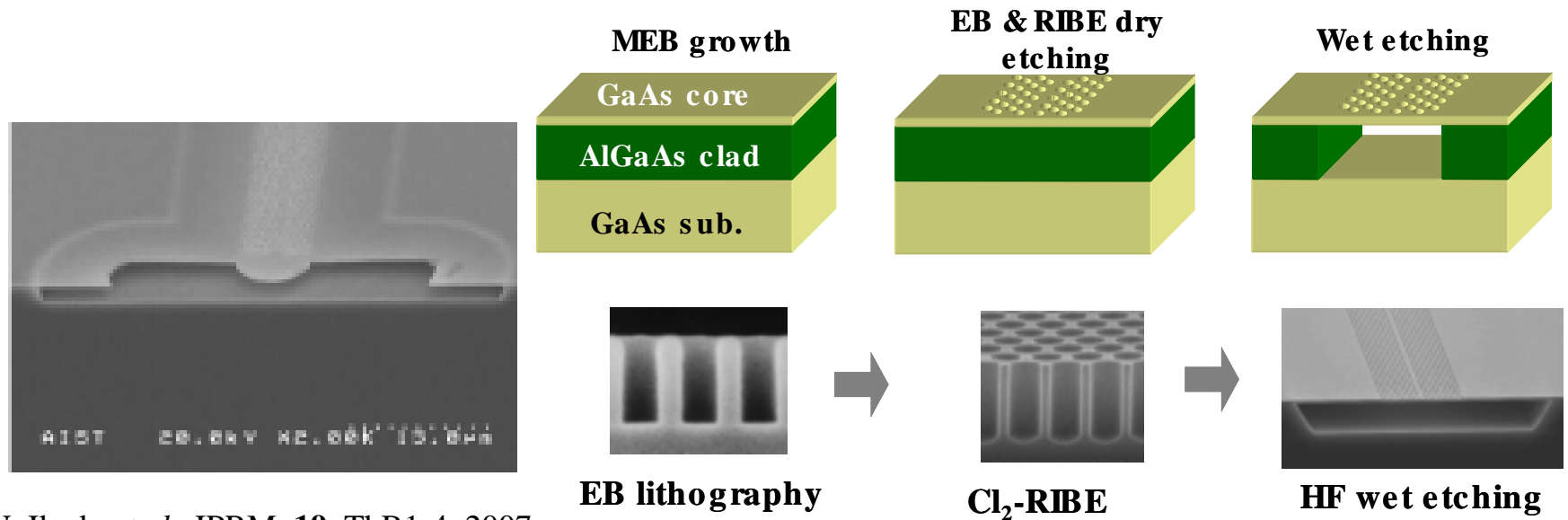
- 位相シフト測定におけるノイズの減少
- サンプルのパワー依存性、波長依存性
- 他サンプルとの比較(バルク-SOAなど)



# 付録1 : PC/QD-FF



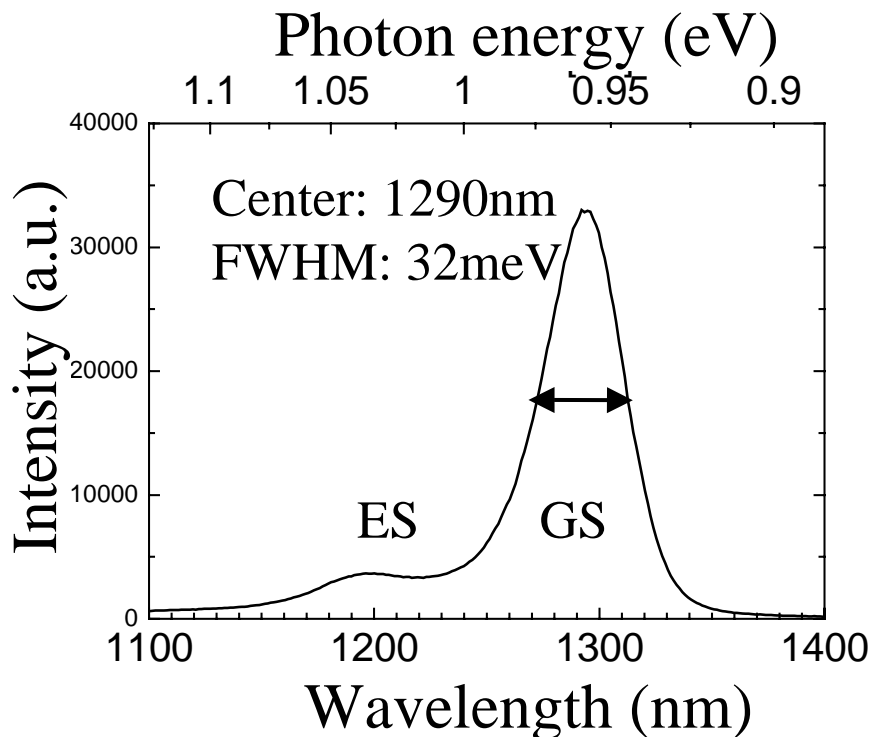
# 付録2 : PC/QDサンプル



N. Ikeda *et al.*, IPRM. **19**, ThB1-4, 2007.

N. Ikeda *et al.*, SST. **22**, 149, 2007.

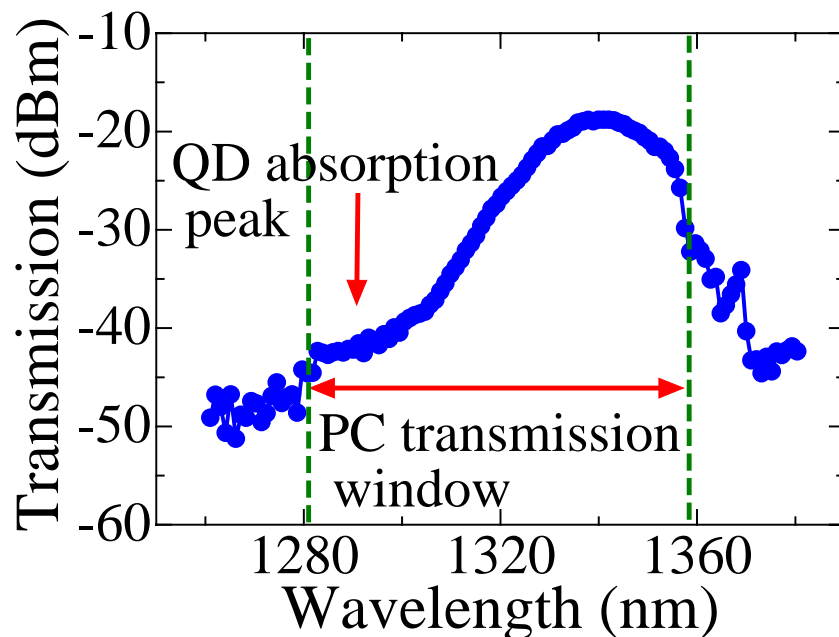
# 付録3 : サンプルの基礎特性



## QDのPLスペクトル@室温

(GS: 基底準位、ES: 励起準位)

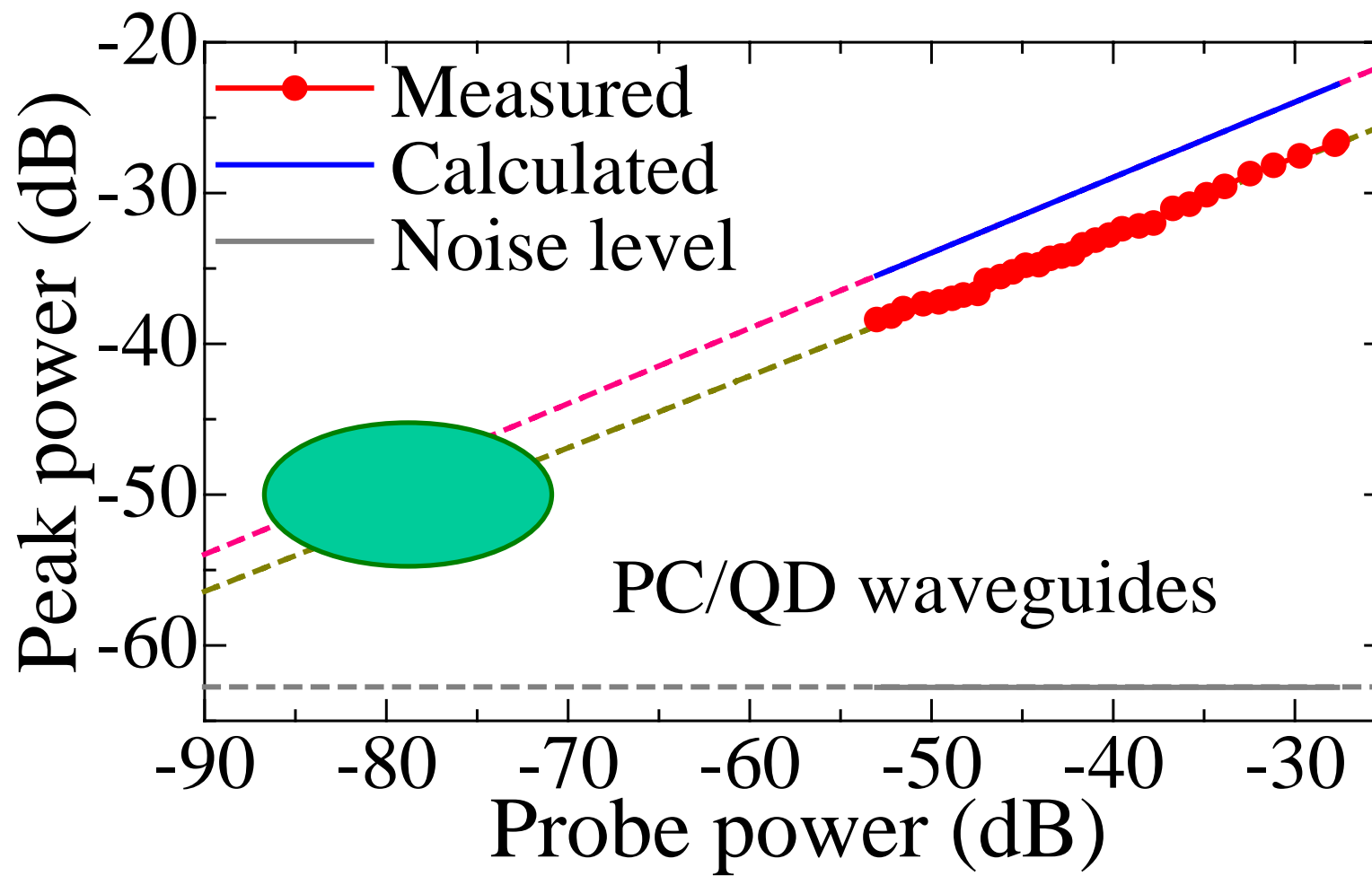
PL発光ピーク波長: 1290nm  
FWHM: 32meV



## PC/QDサンプルの透過スペクトル

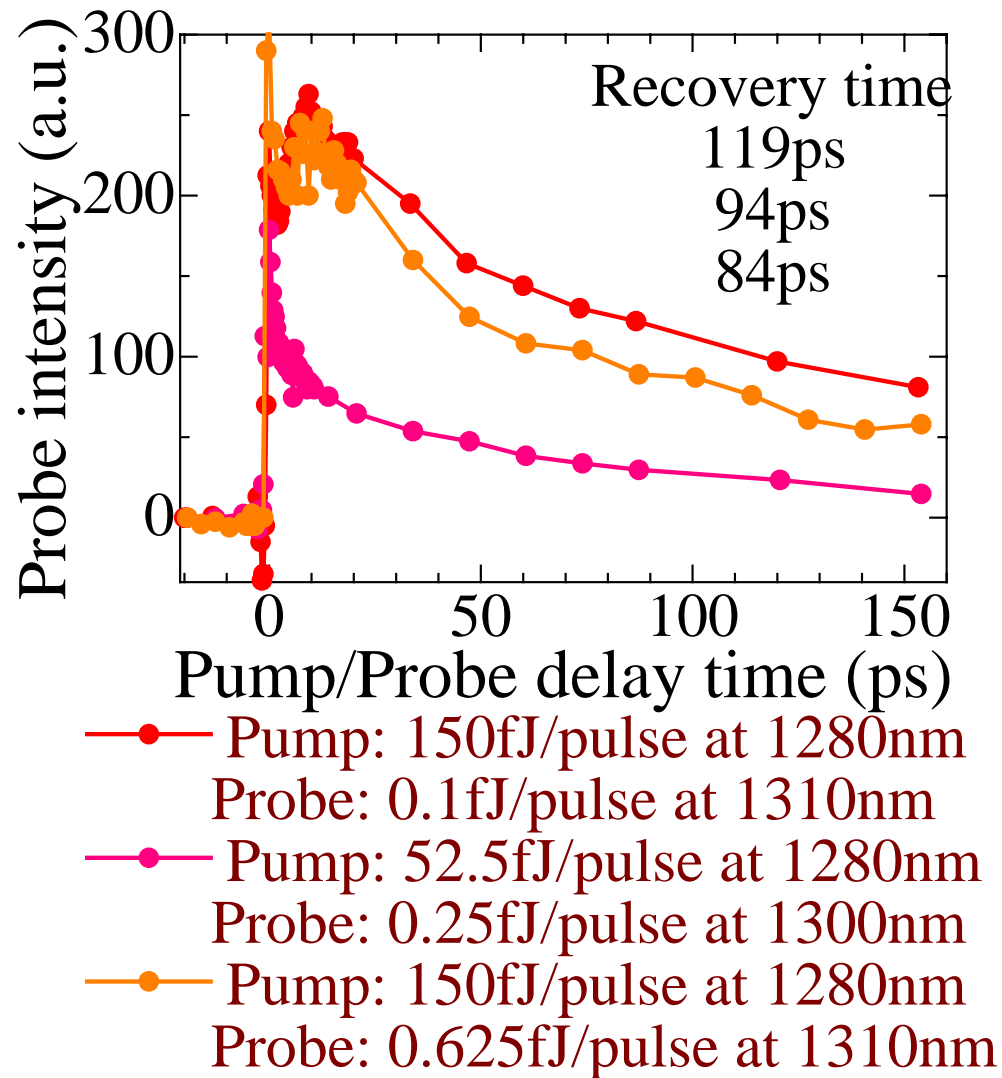
QD吸収ピーク波長: 1290nm  
PCの透過窓: 80nm (1280 ~ 1360nm)

# 付録4：性能 (ダイナミックレンジ)





# 付録5：旧装置の結果



# 付録6：実験装置の安定性

