

# T型量子細線における発光励起スペクトル

## Photoluminescence excitation spectra in T-shaped quantum wires

伊藤弘毅、吉田正裕、早水裕平、秋山英文、

L.N.Pfeiffer<sup>A</sup>, and K.W.West<sup>A</sup>

東京大学物性研究所、ルーセント・ベル研究所<sup>A</sup>

H.Itoh, M.Yoshita, Y.Hayamizu, H.Akiyama,

L.N.Pfeiffer<sup>A</sup>, and K.W.West<sup>A</sup>

ISSP, University of Tokyo, and Bell Labs., Lucent Technologies<sup>A</sup>

# 1 T-shaped quantum wire by CEO

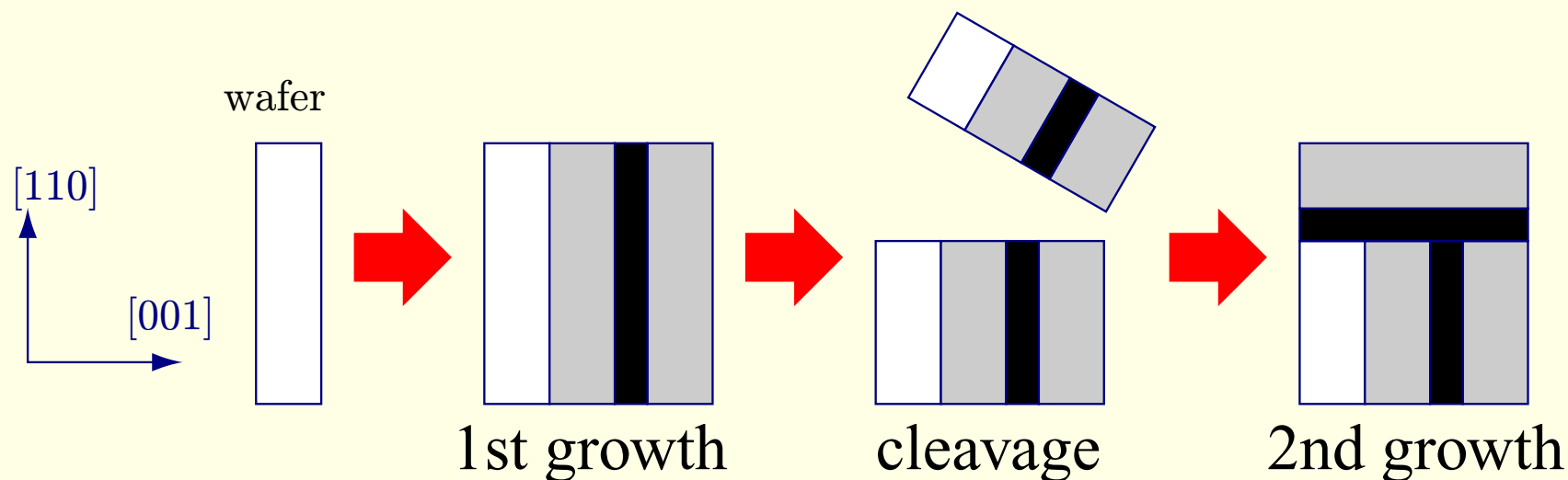
---

## 1.1 量子細線 (quantum wire, QWR)

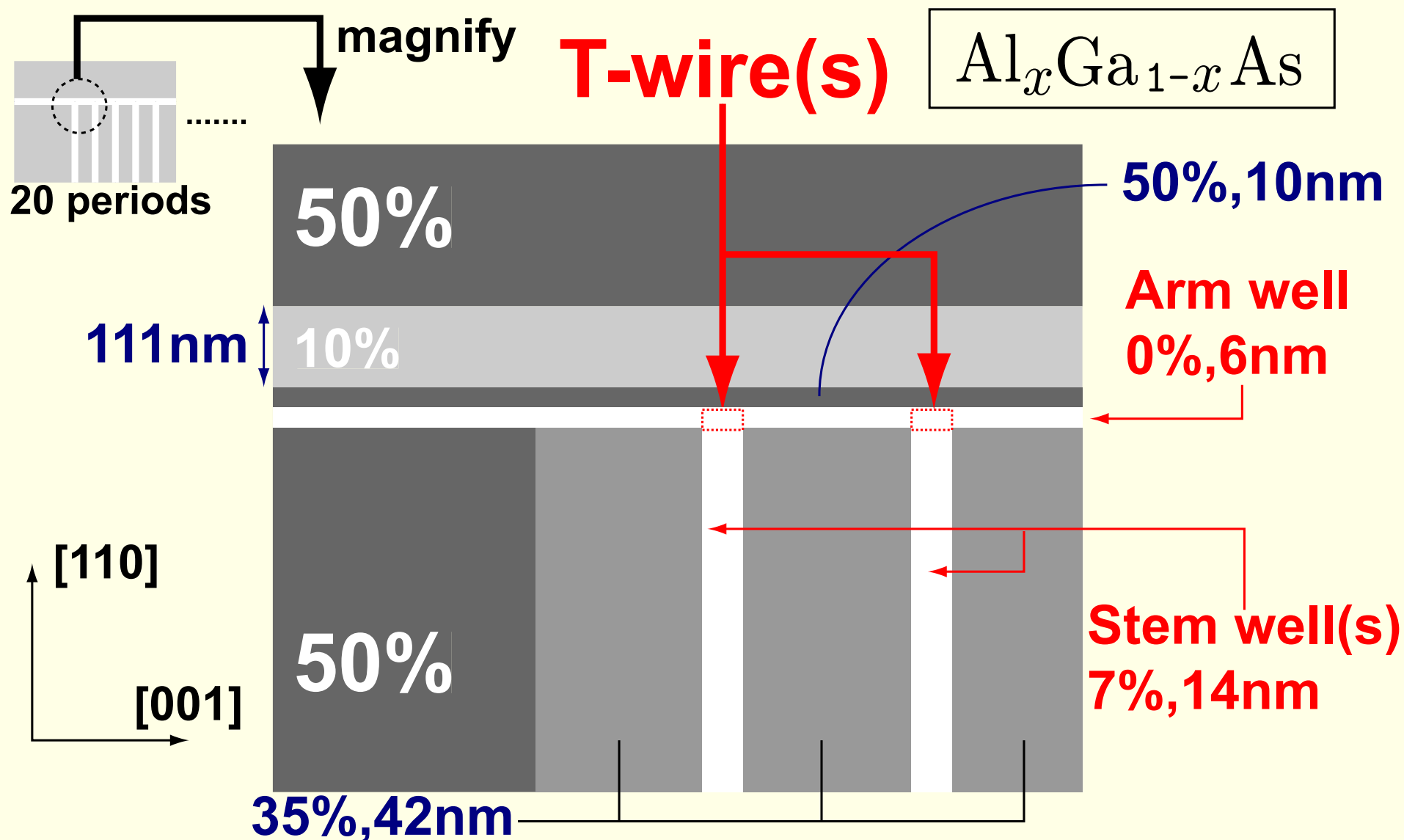
ポテンシャルの壁で空間的な自由度を制限した人工的な擬1次元系デバイス応用及び1次元系の基礎物性に対する理解を目的とする

## 1.2 CEO (Cleaved Edge Overgrowth)

劈開再成長法 (CEO) によって作成された量子細線を用いた。これは、二段階の MBE 成長によって量子井戸の交線に量子細線を実現する。



## 2 Detail of the sample



Arm well, Stem well の交線に  $6[\text{nm}] \times 14[\text{nm}]$  の量子細線が形成される

### 3 PLE (Photoluminescence Excitation Spectra)

ある構造における発光強度の、励起光エネルギー依存性。  
つまりその構造における振動子強度（光吸収強度に比例）の  
エネルギー依存性を見ることに他ならない。

#### 3.1 励起子吸収

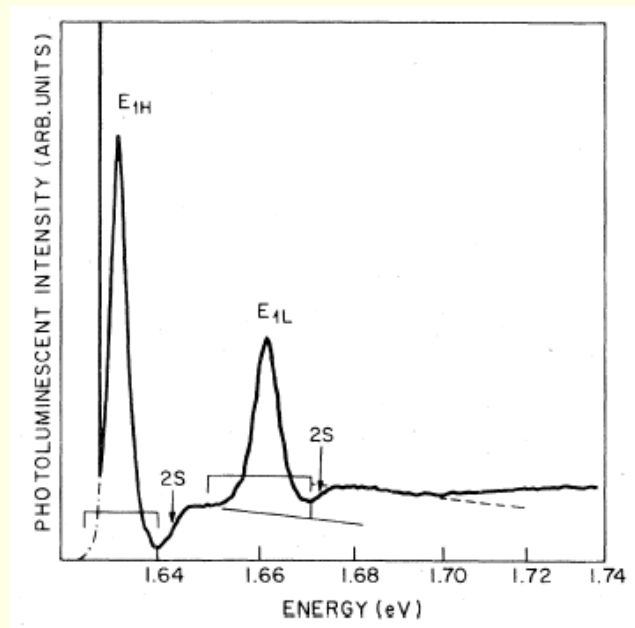


Fig. 1: Miller *et al.*, PRB  
24 1134 (1981)

左図は 2D 量子井戸 (QW) 中の励起子の PLE で、

- 1S, 2S の状態に対応する励起子吸収が見える
- その奥の連続状態 (continuum states) は  $2D\text{-DoS}(\propto E^0)$  を反映し、「平ら」である
- 結合エネルギー  $E_b$  等、様々な状態に対する励起子のエネルギーの情報を得る (cf.  $E_{2S-1S}$ )

1D 励起子ではどのようなスペクトルになるのか？  
(より高品質な試料に於ける再評価)

## 4 Theoretical study 1 (by Ogawa and Takagahara)

1D に於ける  $E_b$  の発散を防ぐため Coulomb 力として  $-\frac{e^2}{\epsilon(|z| + z_0)}$  を採用。

$z_0/a_B$  ( $a_B$ : 励起子の 3D Bohr 半径) に応じ吸収は以下の様に変化

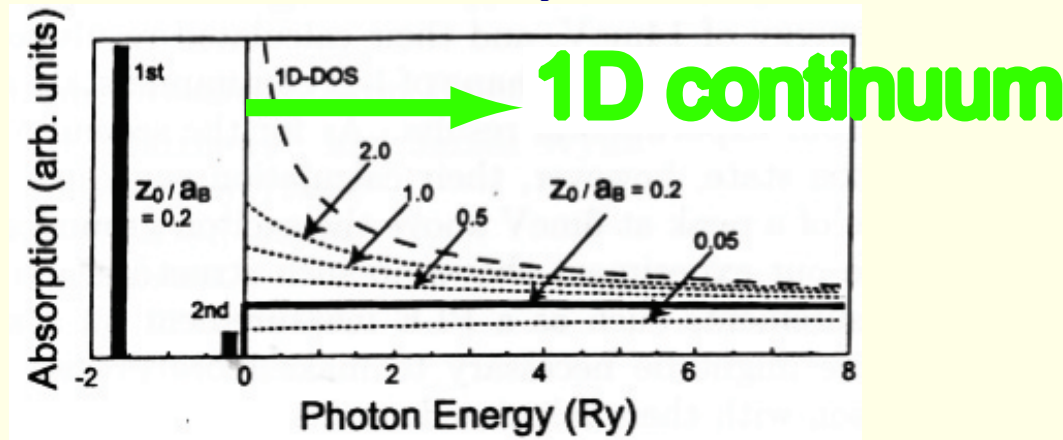


Fig. 2: absorption spectra of QWR (Ogawa and Takagahara PRB 43 14325 (1991))

ゾンマーフェルト因子  $S_{1D} < 1$  は 1 次元系特有。 cf.  $S_{2D}, S_{3D} > 1$

$S$  は連続状態の吸収を特徴付ける因子であり、

$S \equiv (\text{Coulomb 力を取り入れた計算}) / (\text{Coulomb 力を無視した計算})$

QWR の  $z_0 \left( \frac{z_0}{a_B} = 0.2 \right)$  で連続状態が階段関数状になると予言 (図中太線)

## 5 Theoretical study 2 (by Szymanska *et al.*)

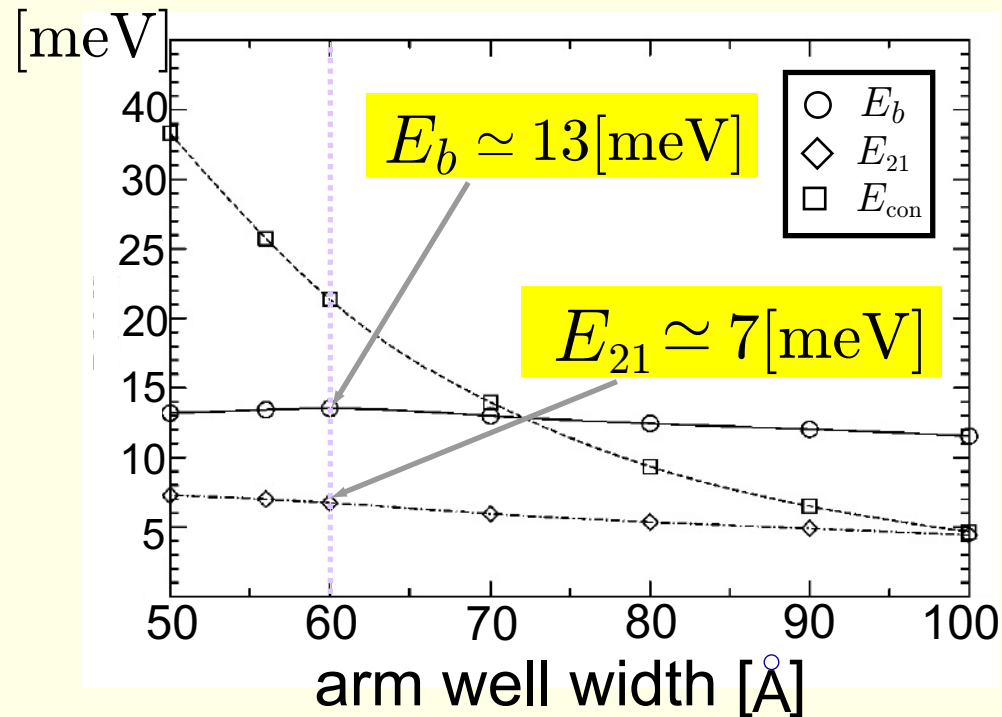


Fig. 3:  $E_{con}$ ,  $E_b$  and  $E_{21}$  as a function of arm well width (Szymanska *et al.* PRB **63** 205317 (2001))

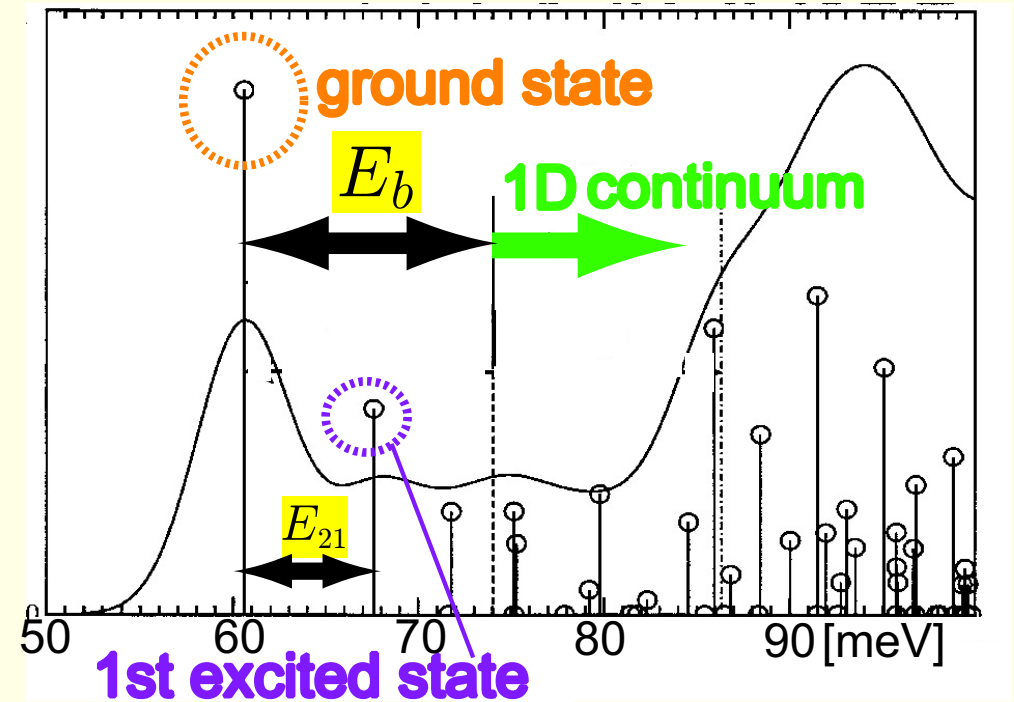


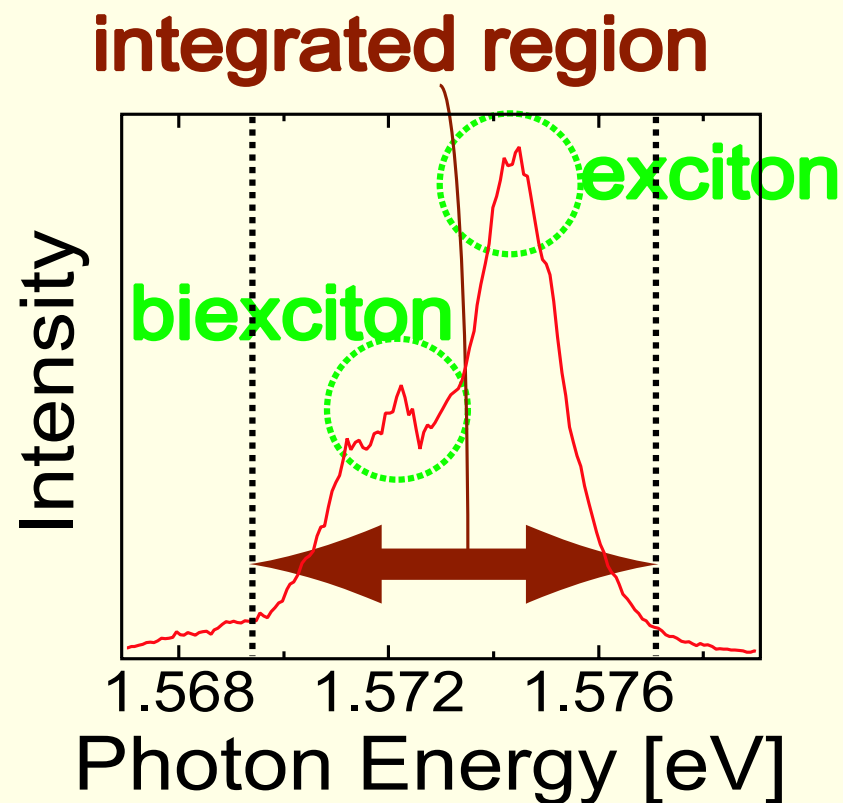
Fig. 4: oscillator strength (PLE spectra) for exciton in QWR (Rubio *et al.* SSC **120** 423 (2001))

QWR 内の励起子の状態についての理論計算

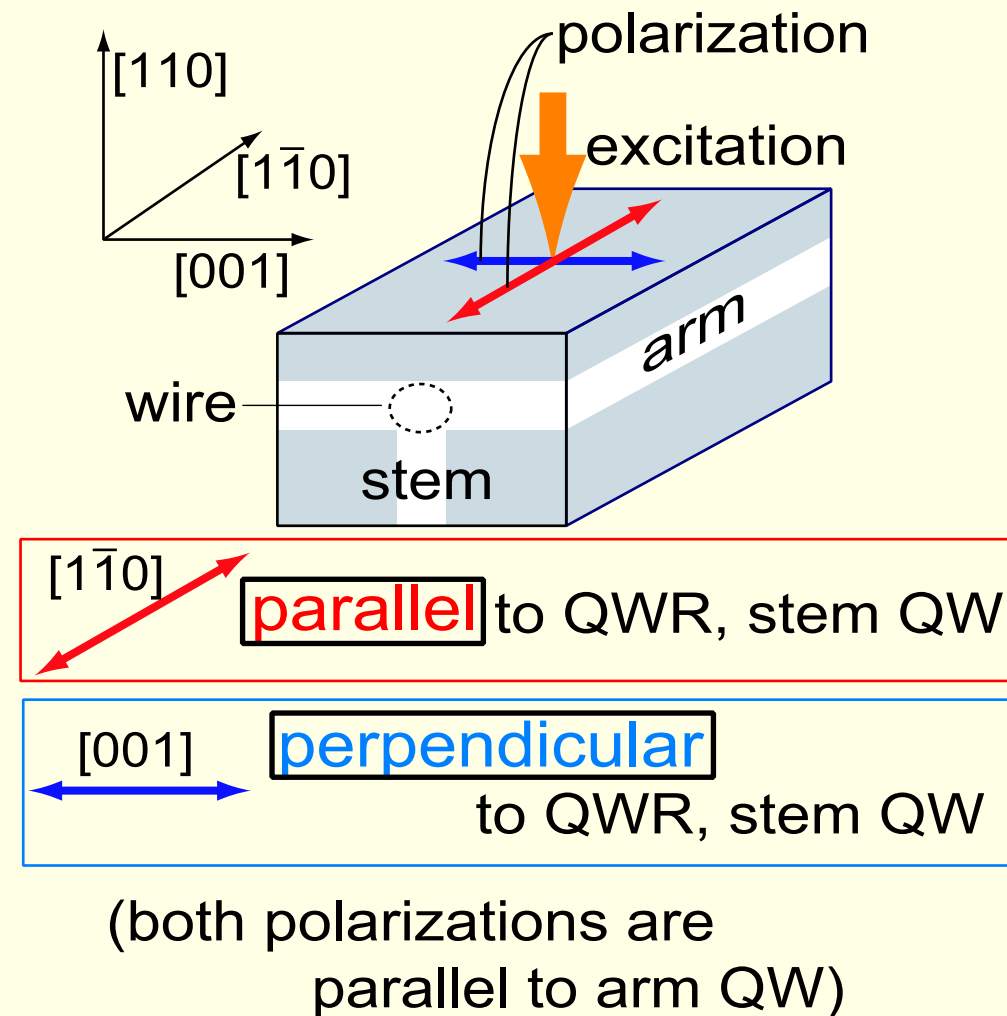
$E_b \sim 13$  [meV],  $E_{21} \sim 7$  [meV] を予言 (井戸幅依存性は小さい)

$E_{21}$ : 励起子の基底状態・第一励起状態間のエネルギー差

## 6 Miscellaneous information



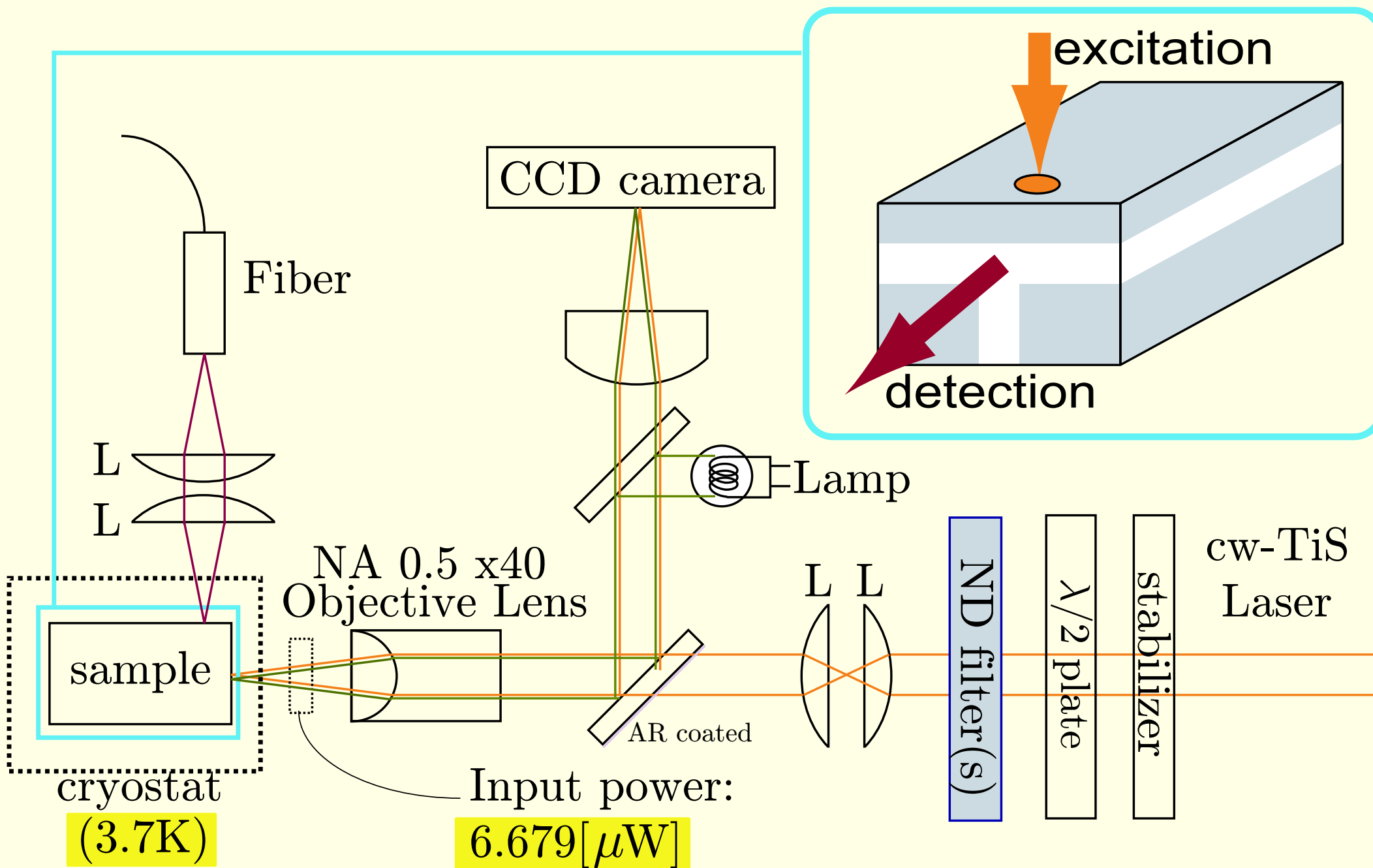
excited at: 731.9[nm] (1.694[eV])  
6.679[ $\mu$ W]



左に PLE 測定でプローブとした領域を示した。

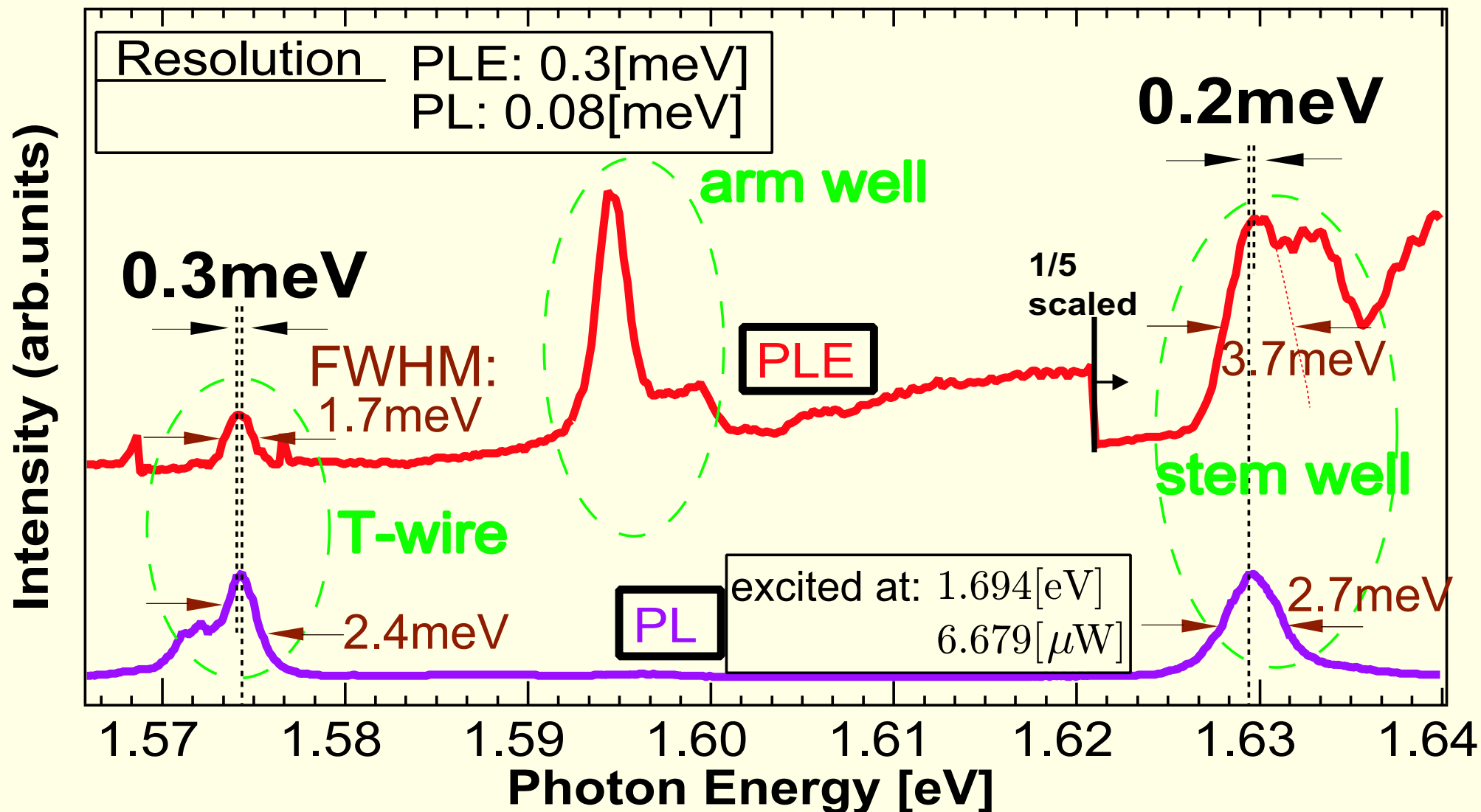
右に実験で用いられた励起光の偏光方向と試料構造との関係を示した

# 7 Optical system





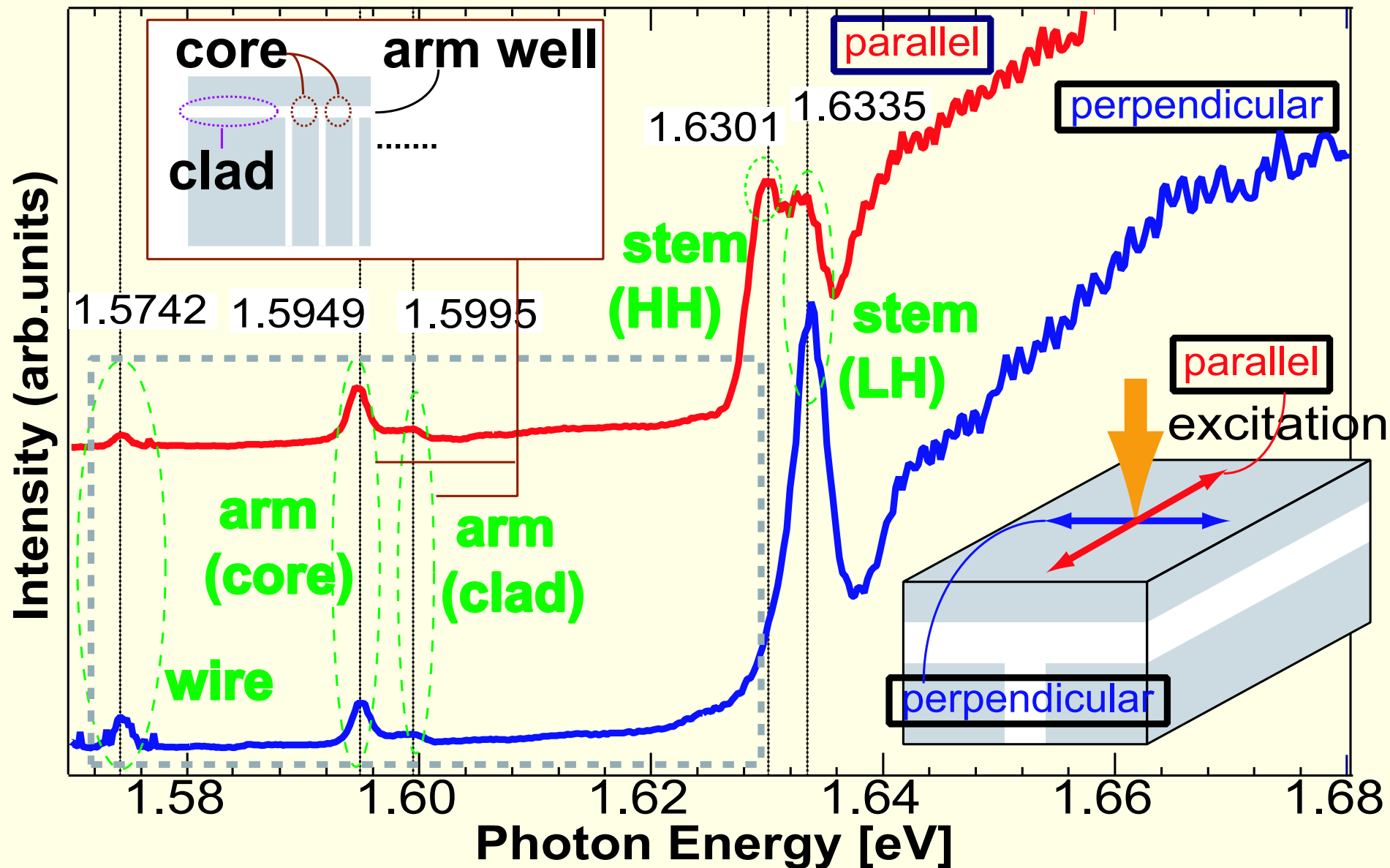
## 8 Estimation of Stokes-shift



Stokes シフトは T-wire 及び Stem well について約 0.2 [meV]

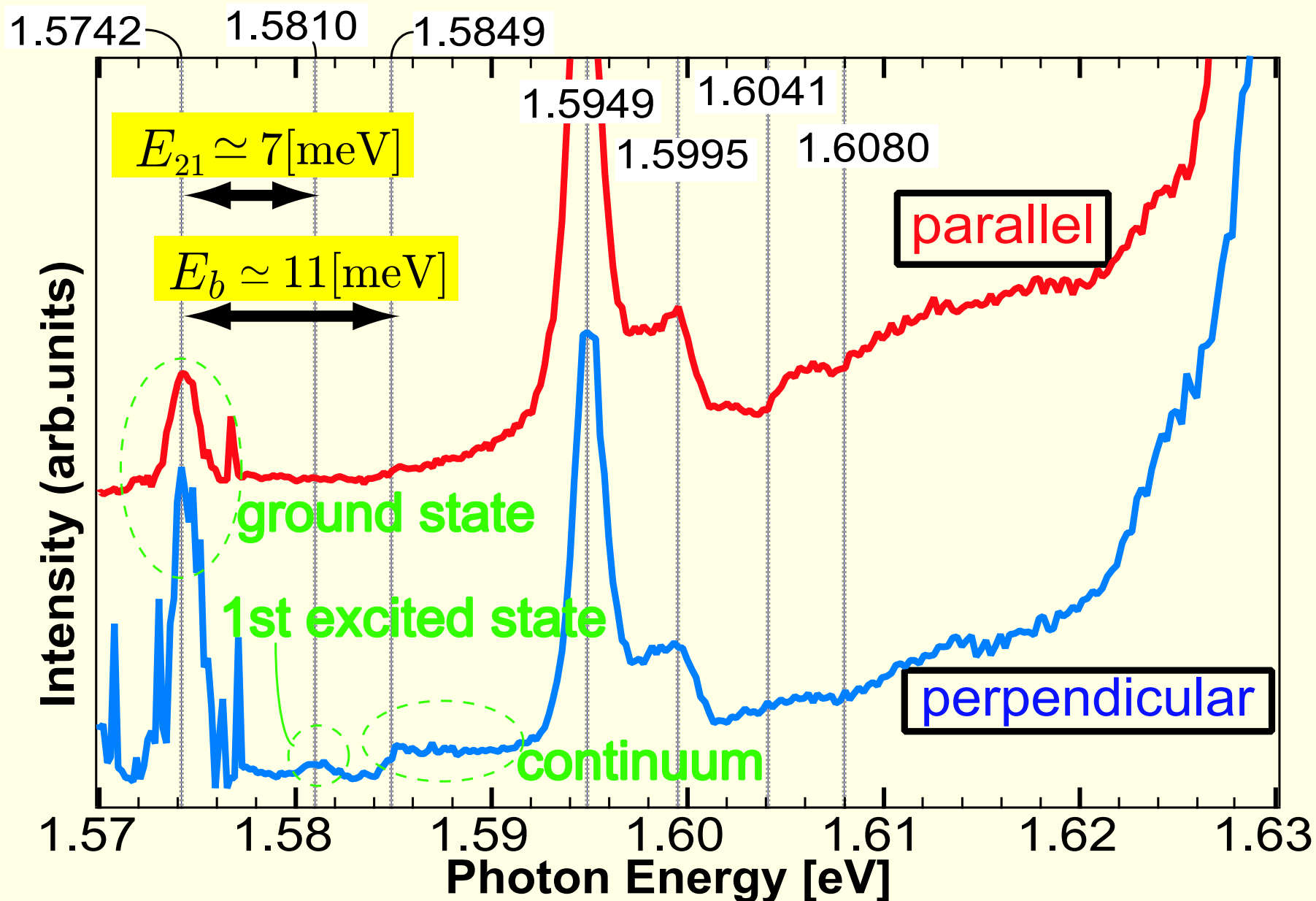
発光起源が自由励起子的である事を示唆 (試料の高品質性を表す)

## 9 PLE spectra (overview)



偏光別の PLE スペクトル。stem well の吸収にその差異がはっきりと見える

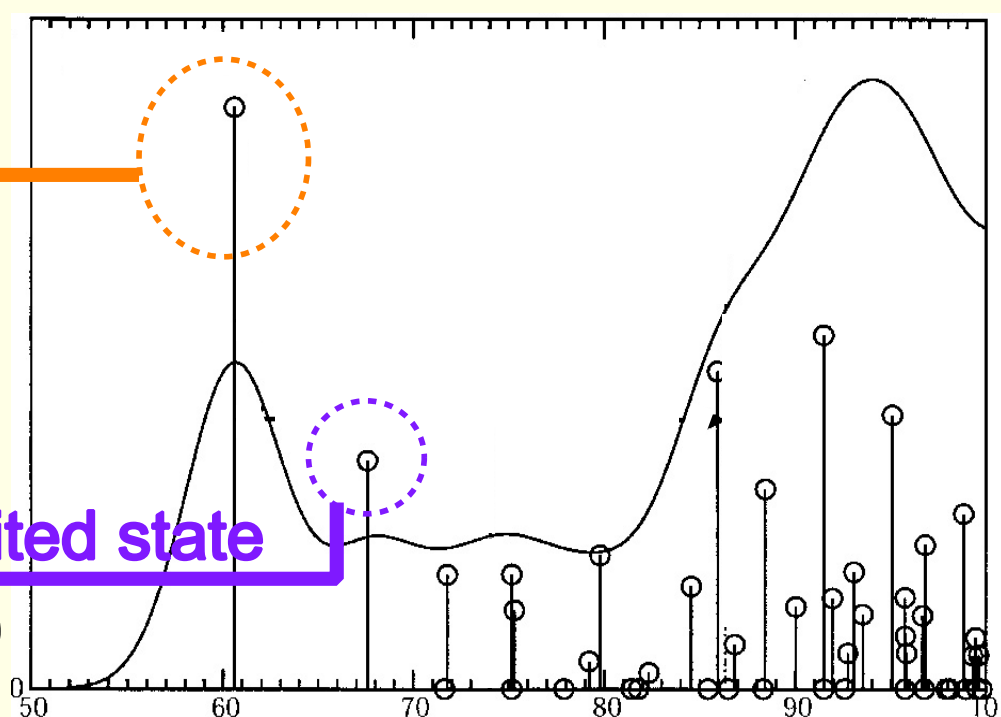
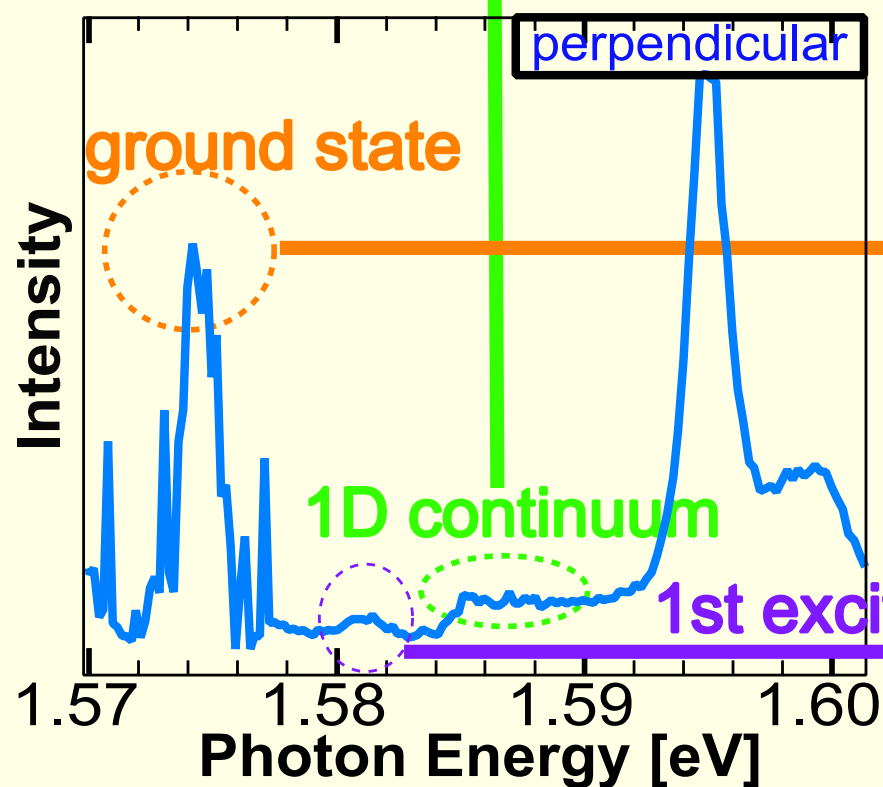
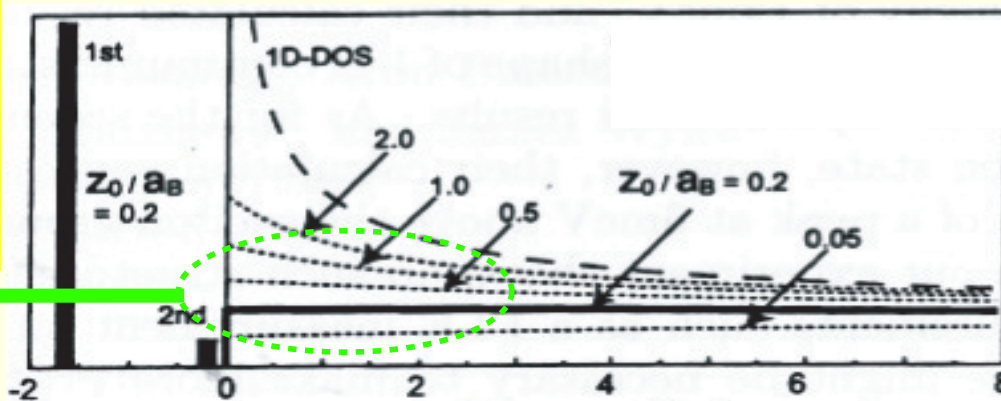
# 10 PLE spectra (in detail)



QWR 中の励起子の基底・第一励起・連続状態に対応した吸収が見られる

# 11 Comparison with theoretical calculations

[meV]	$E_b$	$E_{21}$
theoretical	13	7
experimental	11	7



スペクトルの形状や  $E_b$  等、理論計算と良い一致を見せた

# 12 Summary

---

## 12.1 Conclusion

- 1次元系 PLE を従来より飛躍的に良い精度で測定できた
- 1D 連続状態のスペクトル、結合エネルギー  $E_b$  が計算と良く一致した
- 第一励起状態の観測に初めて成功し、 $E_{21}$  を見積もることが出来た  
そしてそれも理論予測と良く一致した

## 12.2 Future problem

- 井戸幅を変えて測定するなどし、理論計算とのさらなる比較を行う。  
妥当性を評価した上で、欠点の改善やより詳細な計算の実現を目指す。
- 縦軸・横軸両方についての精度をさらに上げる。  
実験方法、実験装置、いずれにも改善の余地がある
- 20 周期の QWR を持つものだけでなく、単一 QWR を持つものやドー  
プしたものについての測定も行う。