

点回折干渉計における 電磁波解析

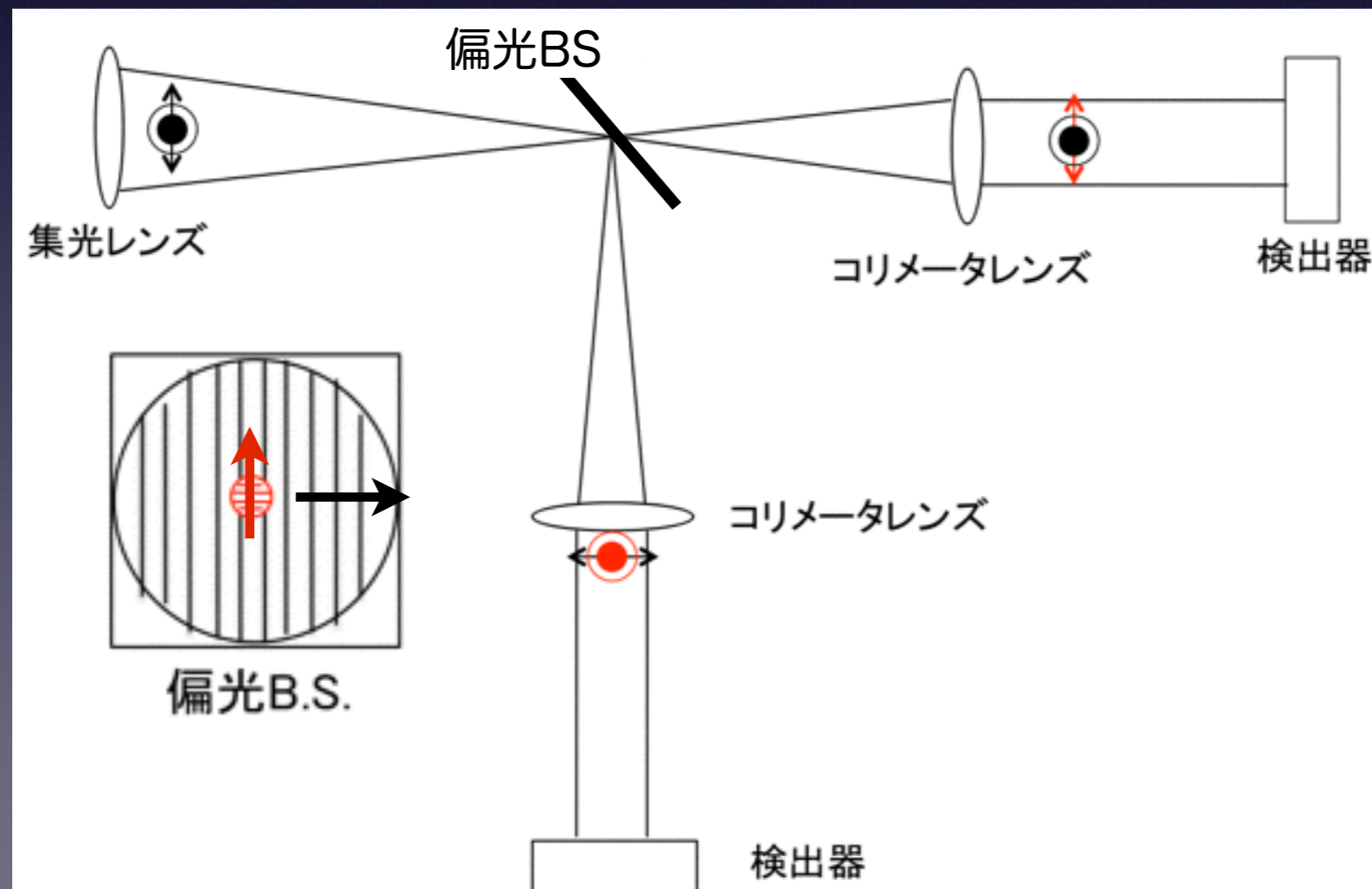
今田 大皓 (筑波大学)、松尾 太郎、木野 勝、
山本 広大 (京都大学)

第4回可視赤外線観測装置技術ワークショップ

2014年12月4日

1. はじめに

- ・ 点回折干渉を用いた波面センサ (700-900nmの可視光)
 - 偏光ビームスプリッタ (BS) の中心 (~PSFサイズ)
 - ✓ 異なる偏光特性、ピンホールとして機能
 - 参照波面として用いる



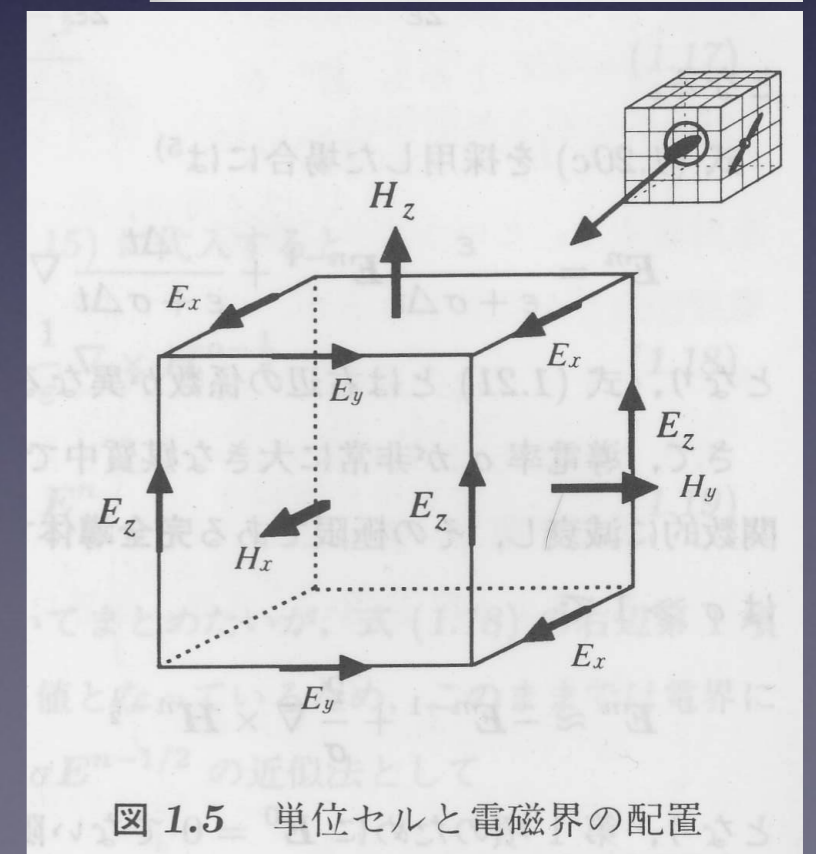
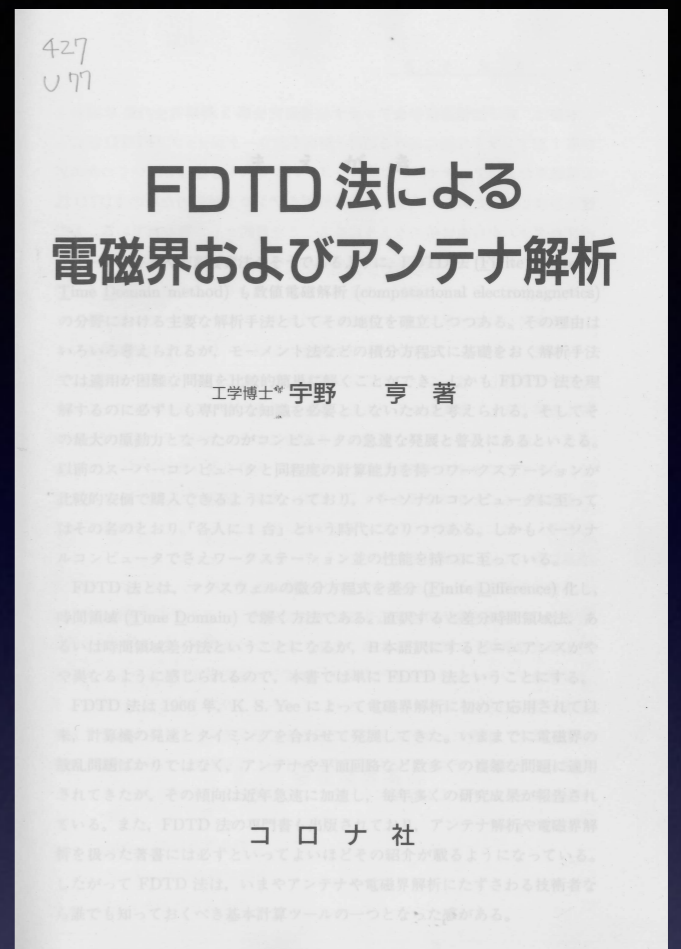
1. はじめに

- ・ 点回折干渉を用いた波面センサ (700-900nmの可視光)
 - 偏光BSにワイヤーグリッド
 - 直交するグリッドを組み合わせる
- ・ ワイヤーグリッド
 - 2つの偏光の成分のうち、一方が透過、他方は反射
 - 透過率、反射率はワイヤーの幾何学で決まる
 - ✓ 電波望遠鏡では、太さ $\sim \lambda/10$ 、間隔 $\sim \lambda/4$ 程度
- ・ グリッドの幾何学的なパラメータをふる
 - 透過率、反射率、偏光の分離度
 - 吸収
 - 位相ずれ



2. 解析方法とモデル

- 解析に使ったプログラム
 - FDTD (Finite Difference Time Domain) 法
 - ✓ 有限要素法の一つ
 - ✓ Maxwell 方程式を差分化して解く
- 自分で書くに至った経緯
 - 以前は GRASP を使っていた
 - ✓ 計算できない幾何学パラメータ
 - ✓ 金属の物性値が入らない
 - 直交するグリッドのモデル
 - ✓ 大規模になり、市販のソフトでは対応できない可能性あり



2. 解析方法とモデル

設定

- セルサイズは 5 nm
- 電磁場は複素数で計算(倍精度)
- 解析波長 $\lambda = 700, 800$ nm
- 真空

モデル

- 無限に長いワイヤーが無限に並ぶ
 - 平面波が垂直に入射する
 - 金 (Au)
- ## ワイヤーグリッドのパラメータ
- 線幅 w 、ピッチ p 、厚さ t

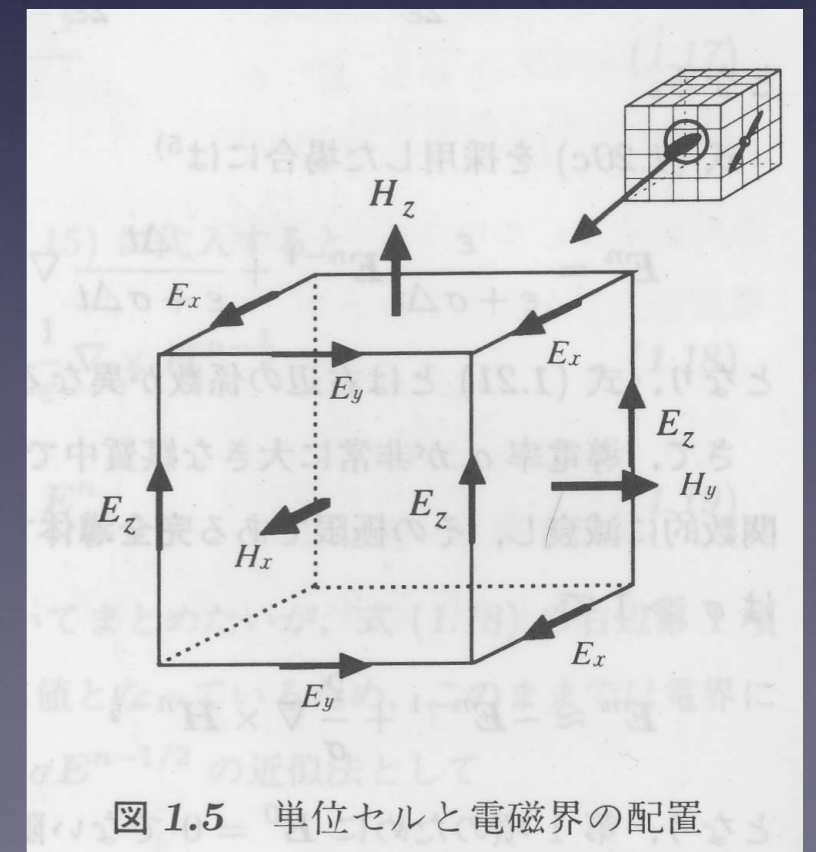
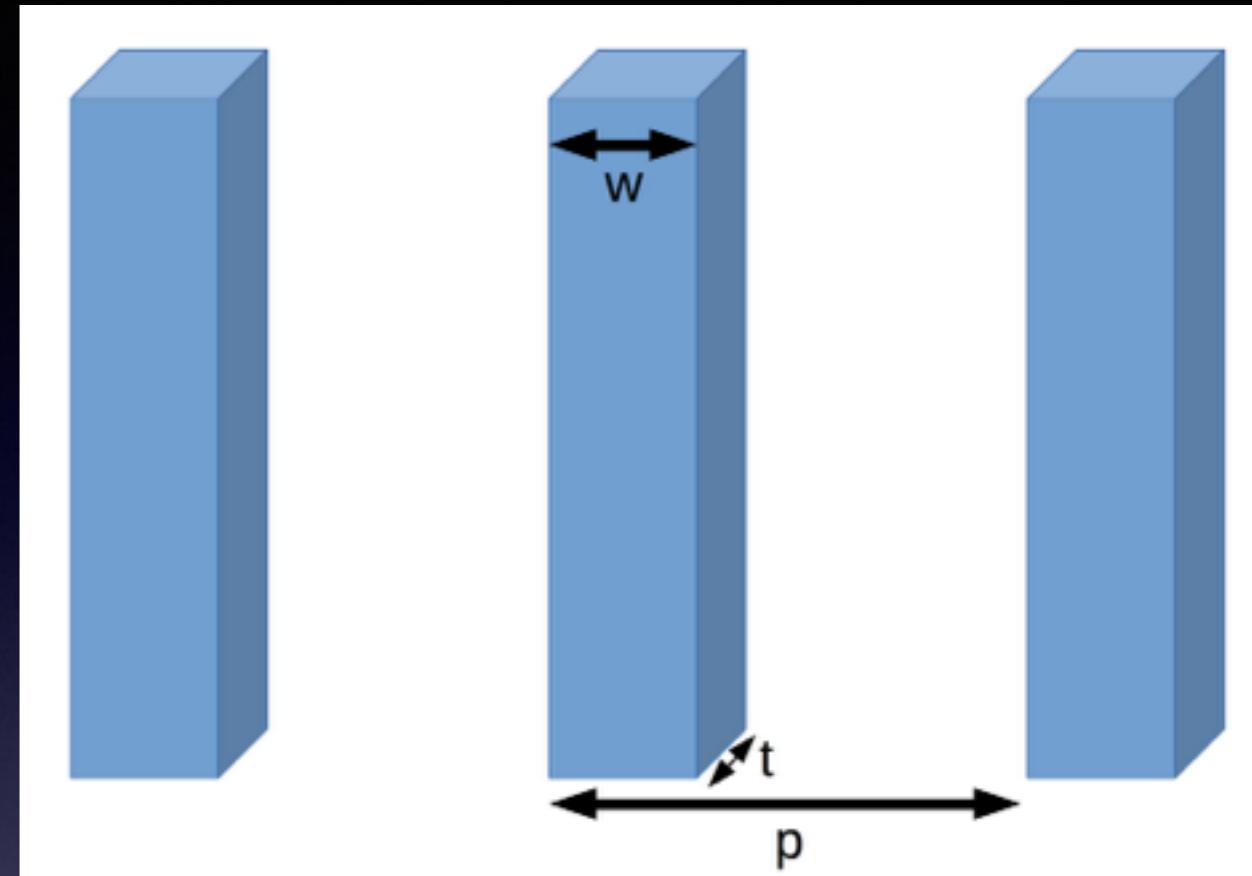


図 1.5 単位セルと電磁界の配置

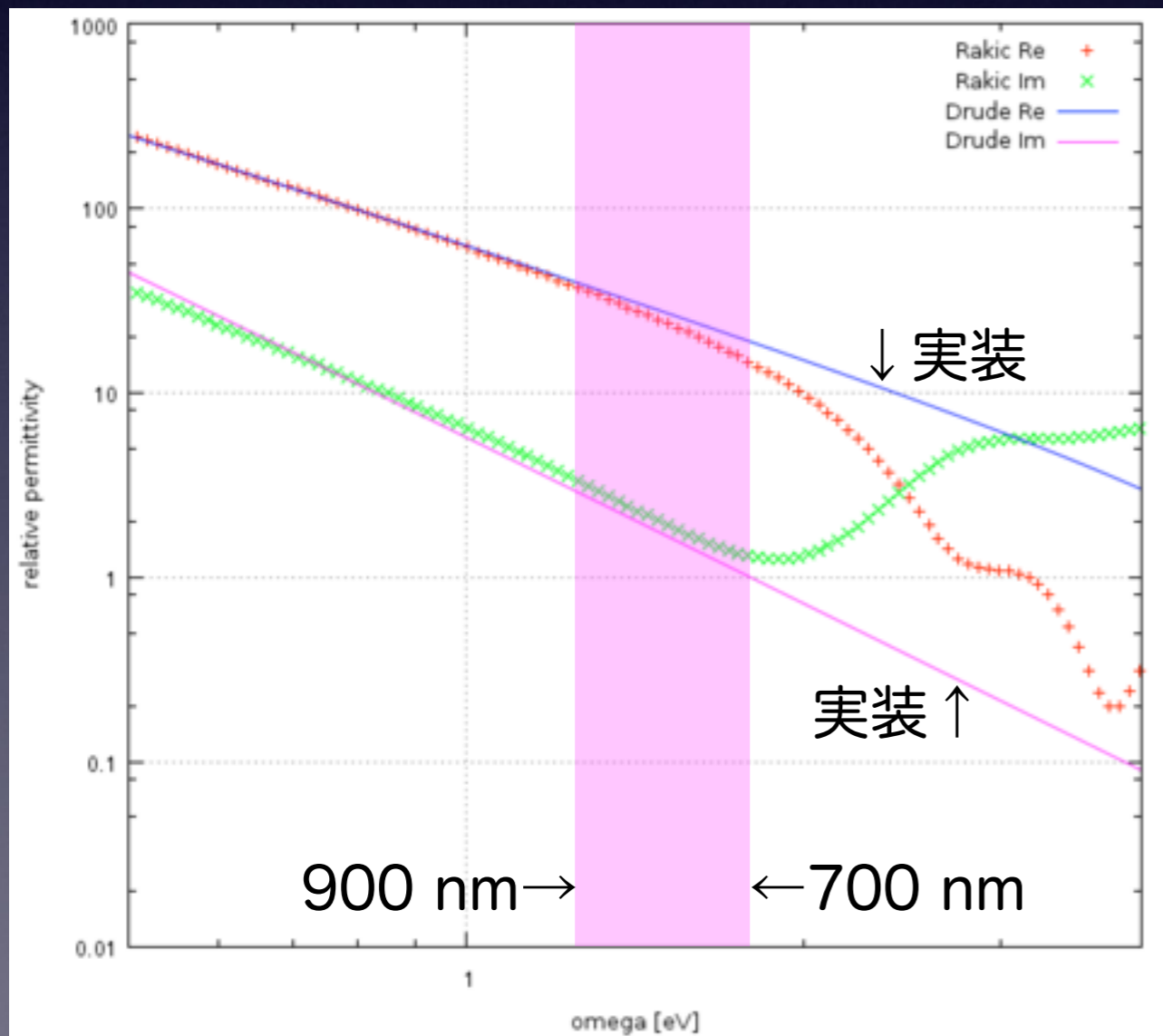
2. 解析方法とモデル

金のモデル

- Drude モデル (金属中の自由電子のモデル)

✓ プラズマ周波数 8 eV/h、緩和時間の逆数 0.09 eV/h

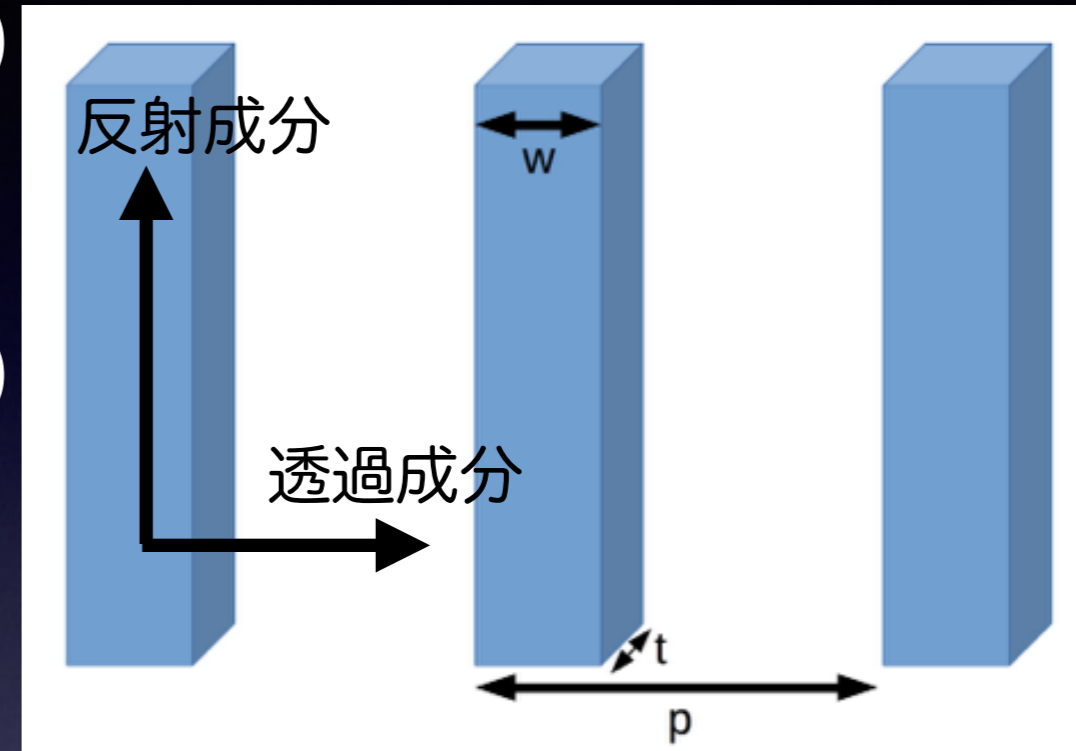
- 700nm $\leq \lambda \leq$ 1umで吸収と反射をよく再現



波長	反射率(理科年表)	反射率(Drude)
400nm	38.7%	95.6%
500nm	47.7%	96.3%
600nm	91.9%	96.7%
700nm	97.0%	97.0%
800nm	97.7%	97.2%
900nm	98.0%	97.3%
1000nm	98.2%	97.4%

2. 解析方法とモデル

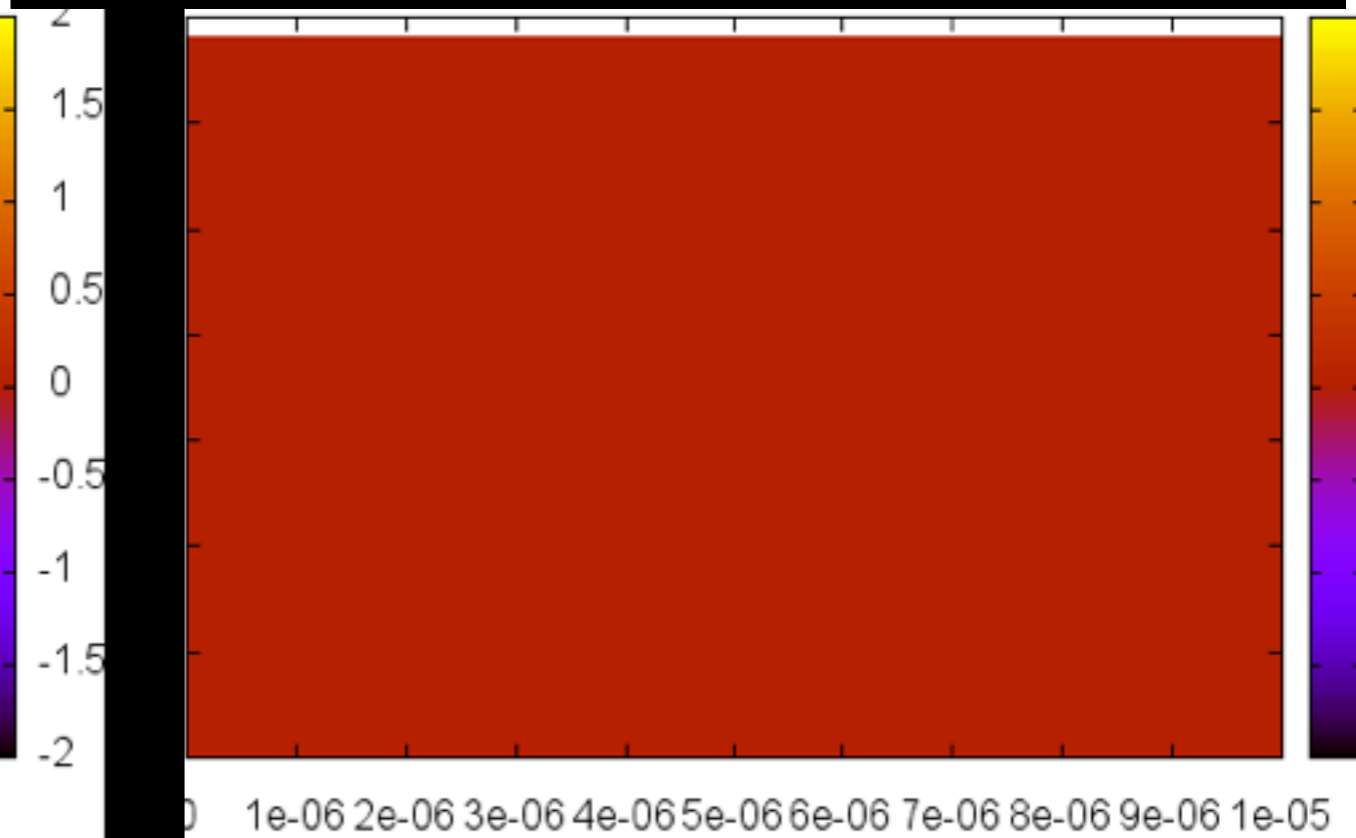
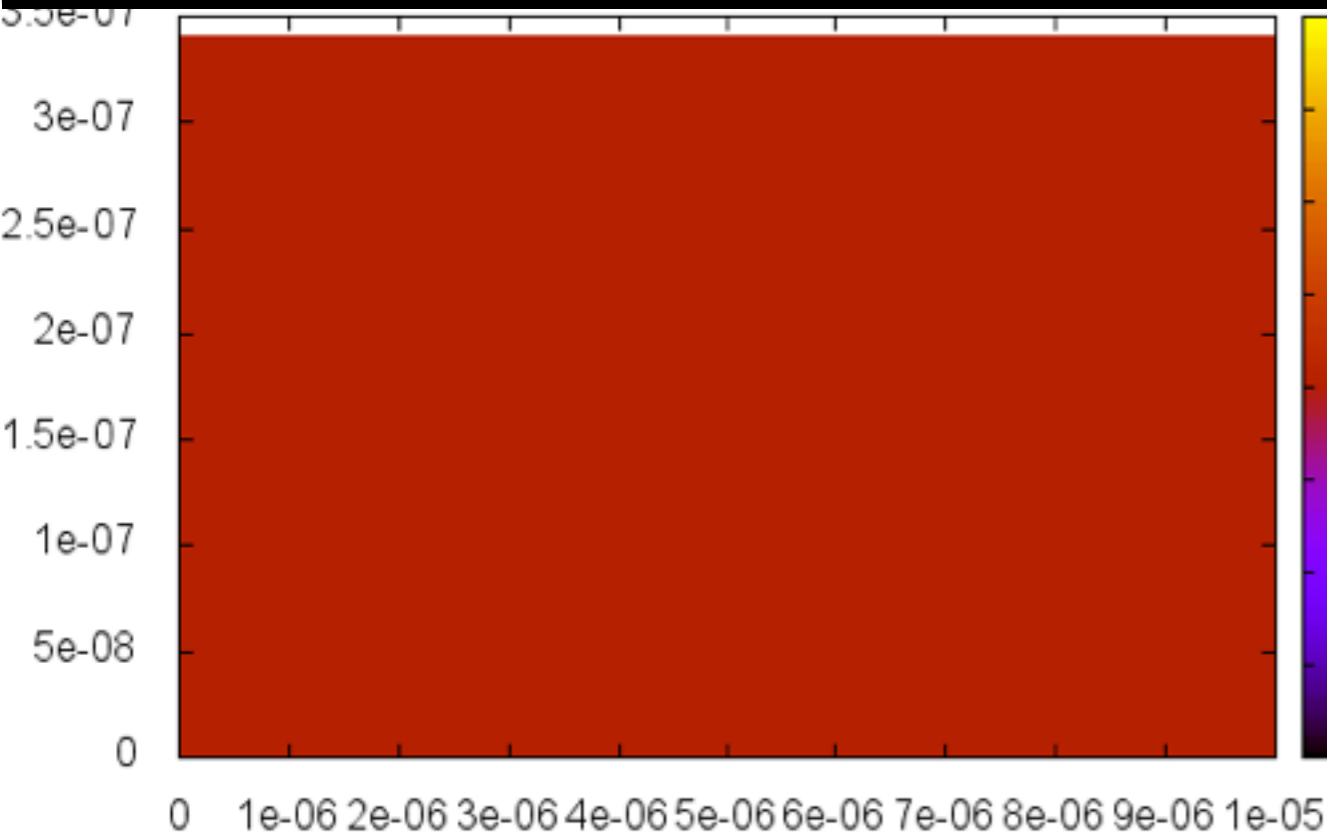
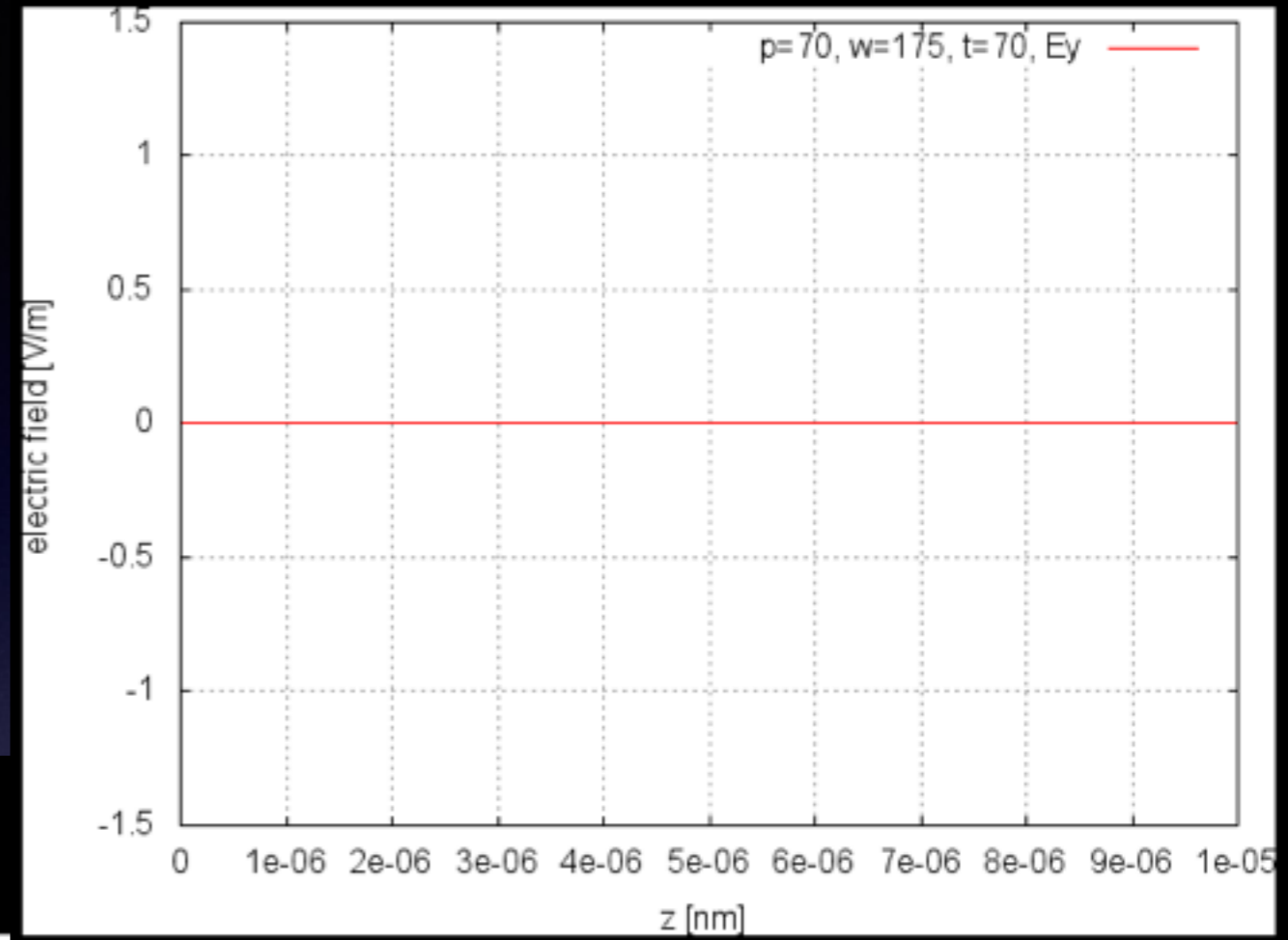
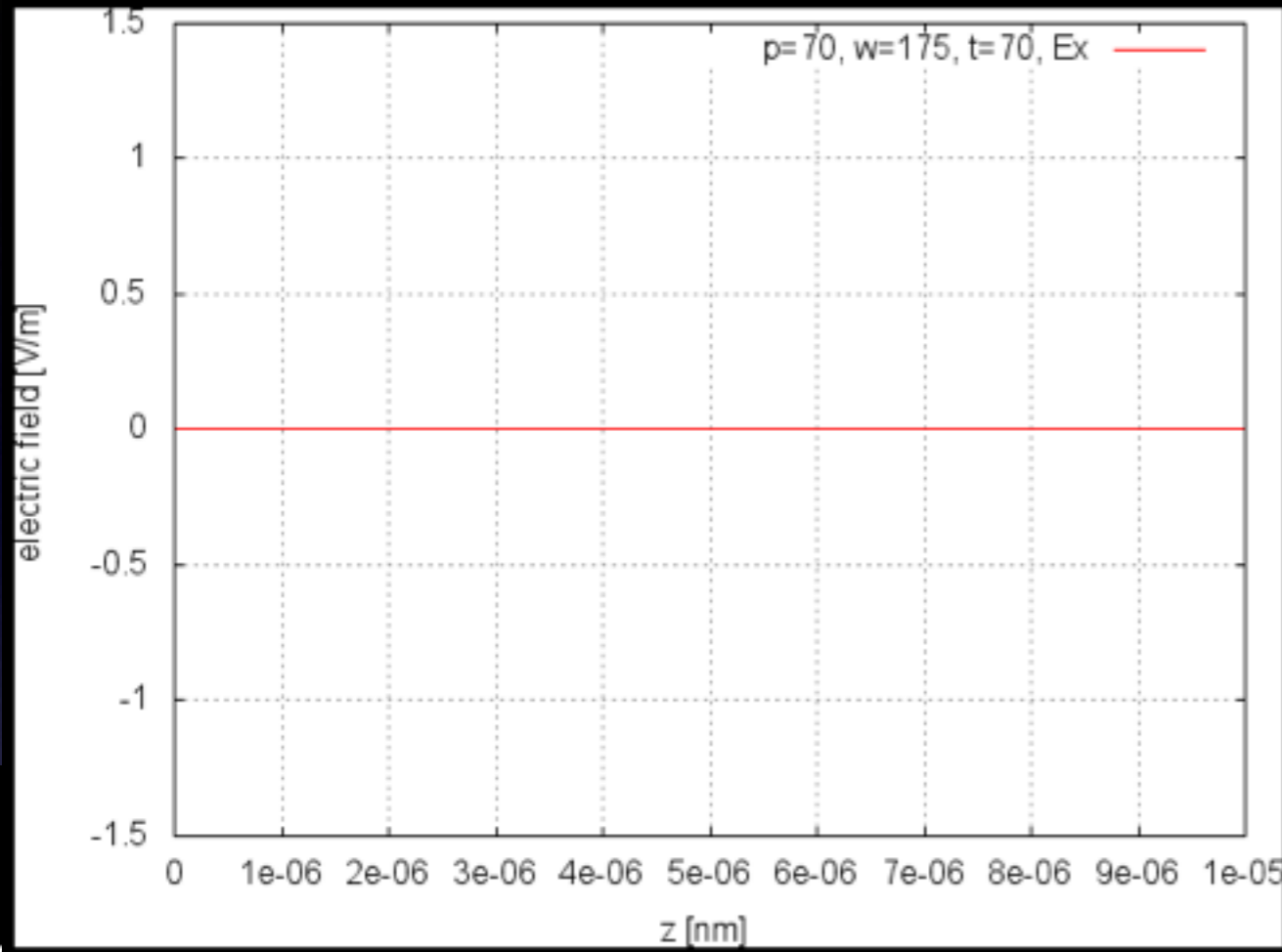
- ・ 線幅 w
 - 60 nm から 150 nm (10 nm 間隔)
- ・ ピッチ p
 - 165 nm から 270 nm (5 nm 間隔)
- ・ 厚さ t
 - 50 nm から 150 nm (5 nm 間隔)
 - ✓ 合計 4620 通り
- ・ 波長 $\lambda = 700, 800$ nm
- ・ 評価した量
 - 消光比 (反射成分/反射側の透過成分)とその逆
 - 消光比が両側で、できるだけ大きくできるパラメータを探す



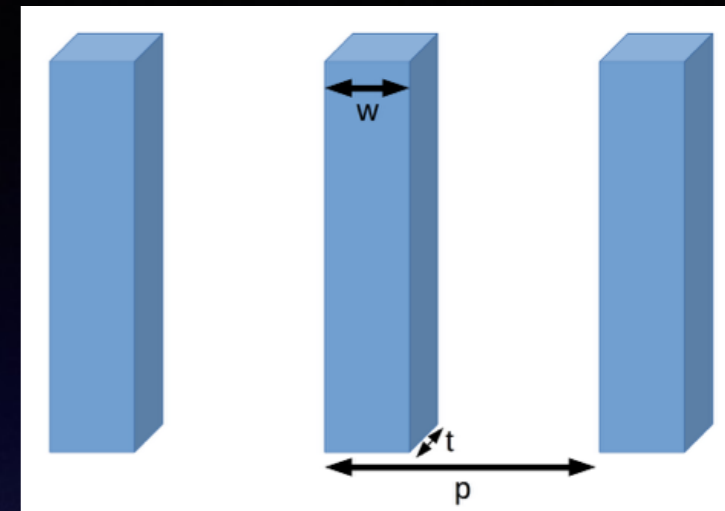
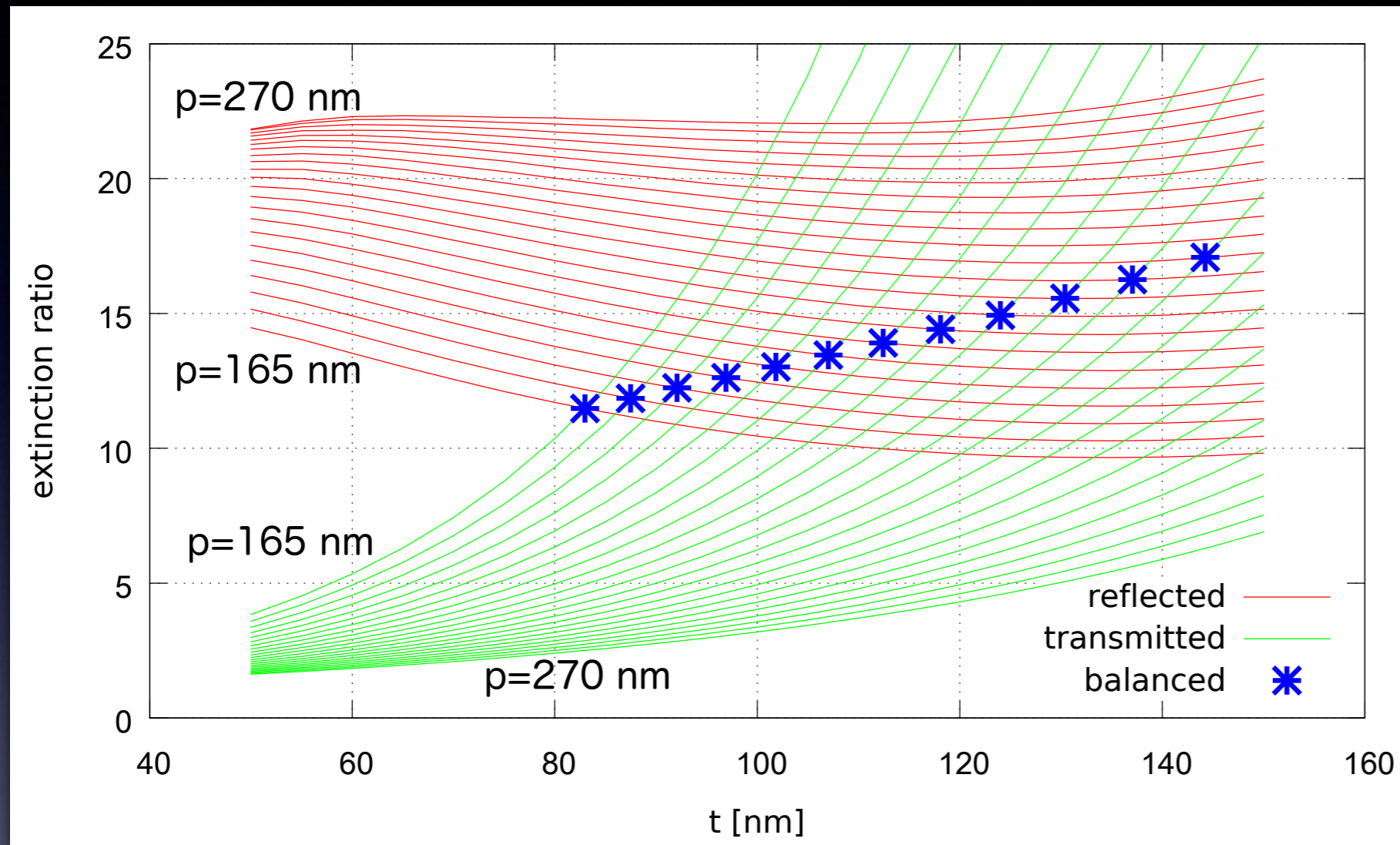
3. 計算結果

平行

直交



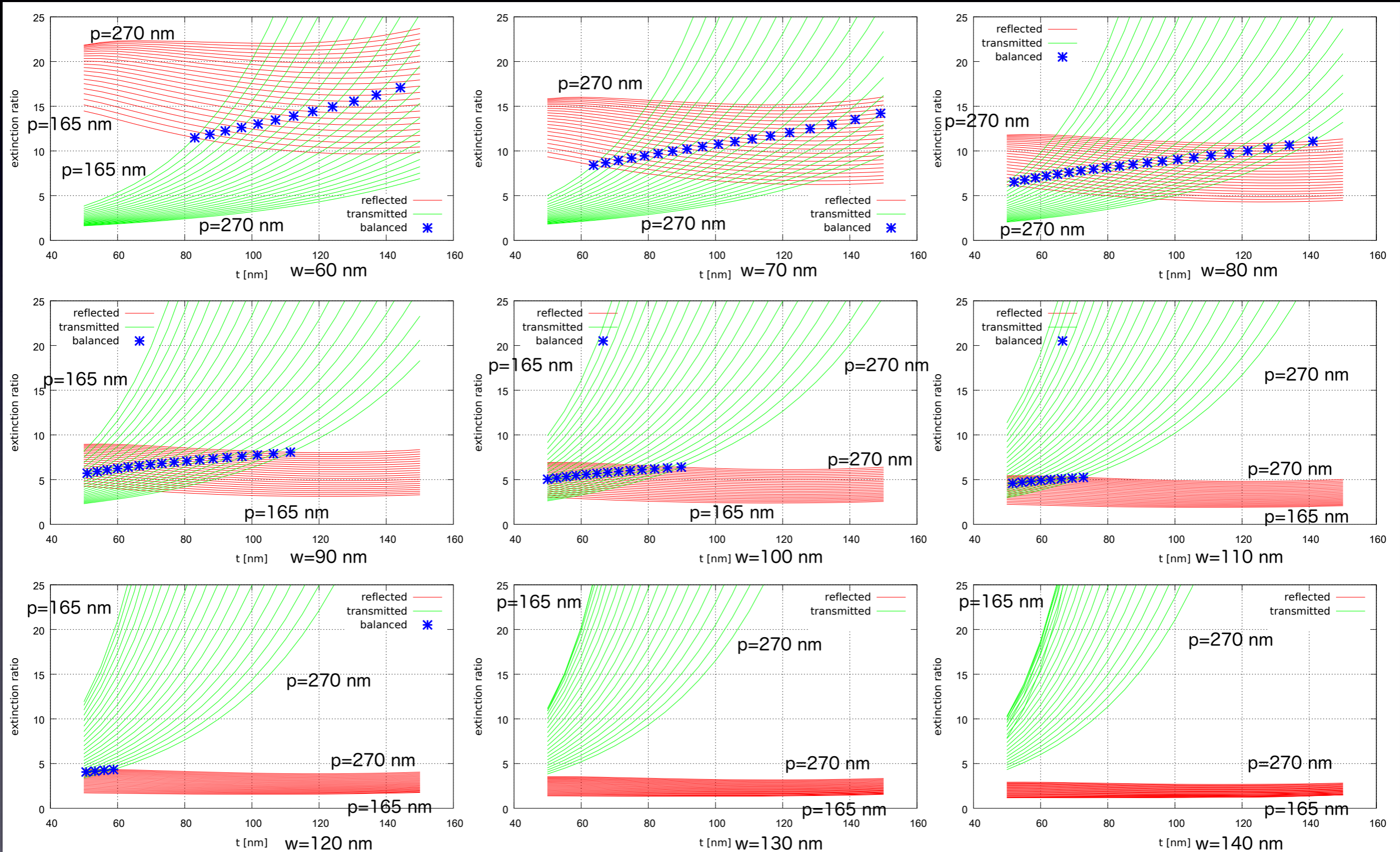
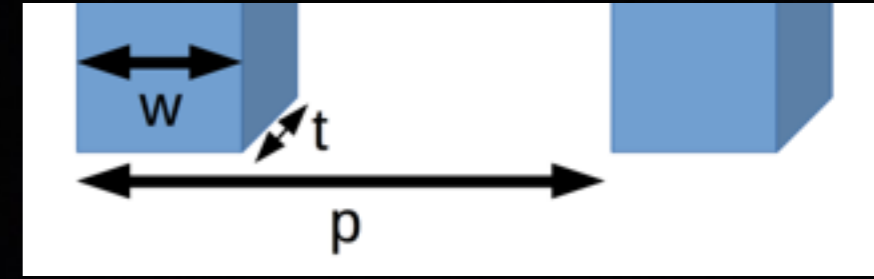
3. 計算結果



- $w = 60$ nm、 $\lambda = 800$ nm
- 赤：反射側の消光比、緑：透過側の消光比
- 青い点は透過側と反射側で消光比が等しくなるパラメータ

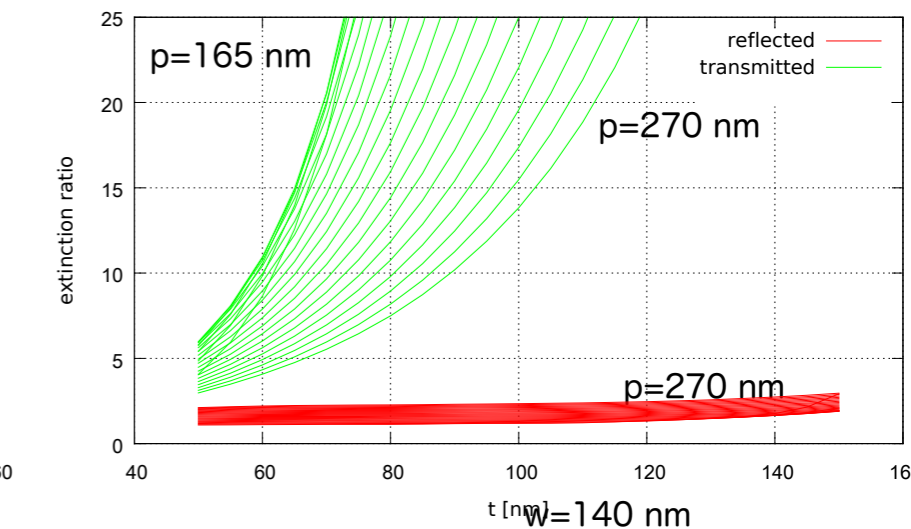
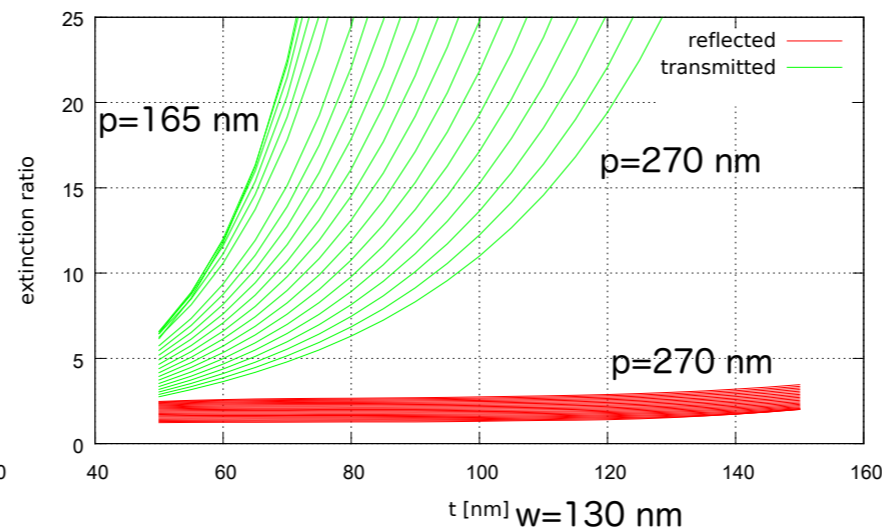
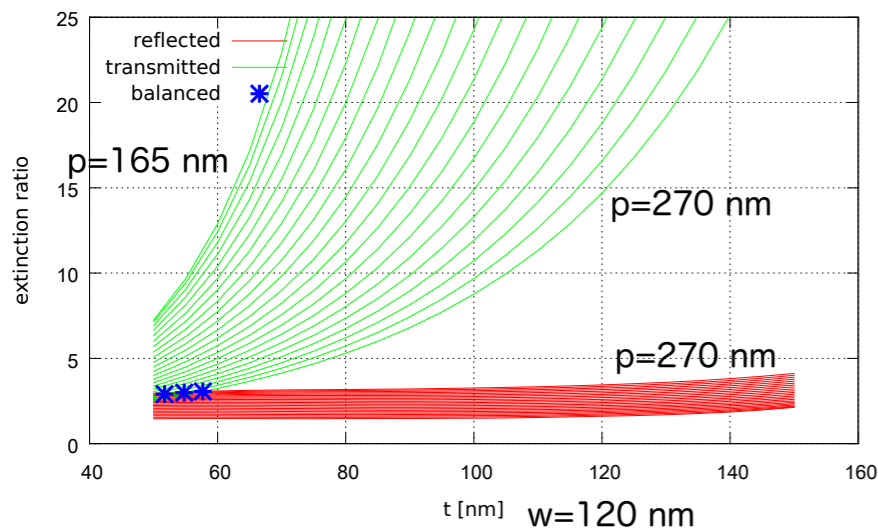
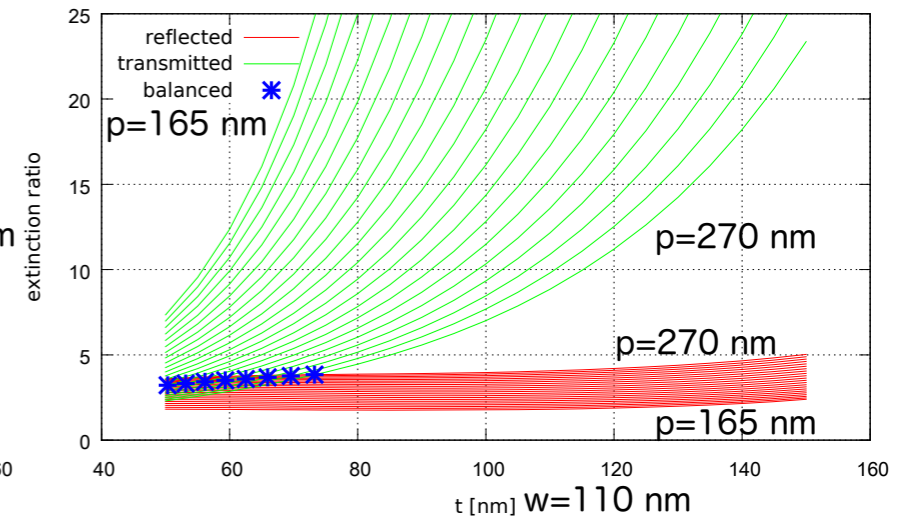
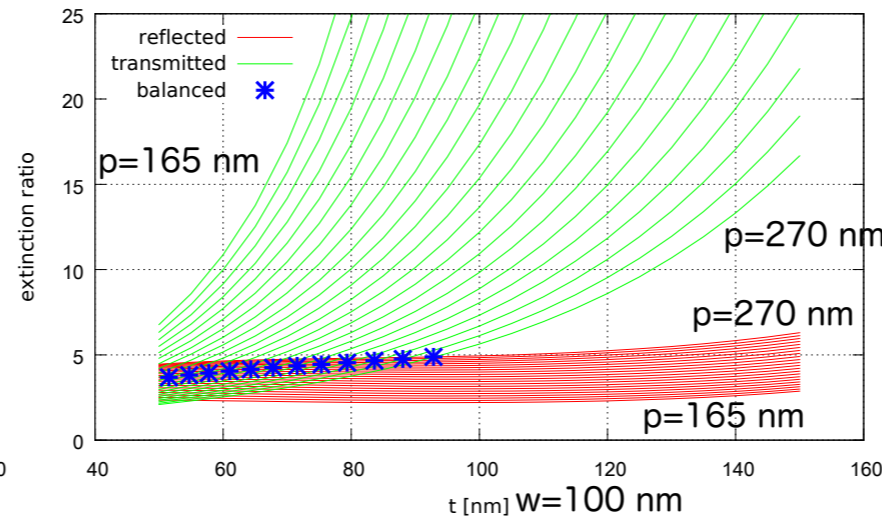
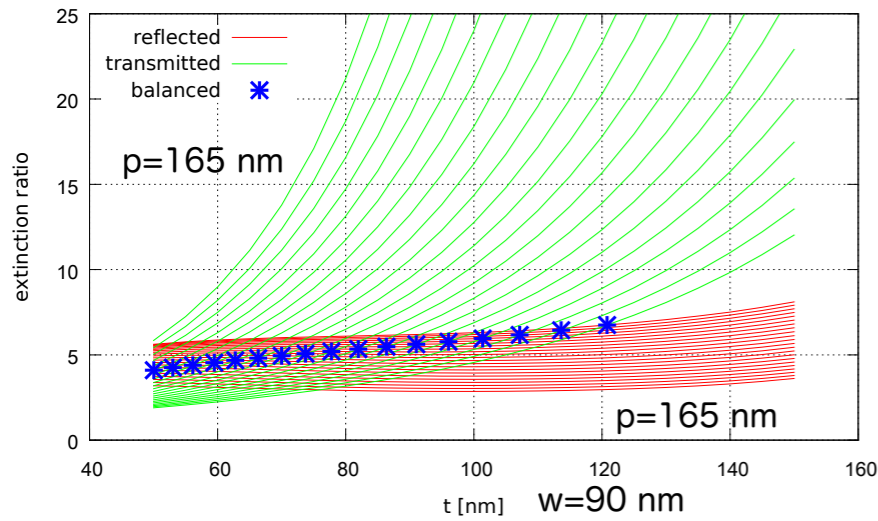
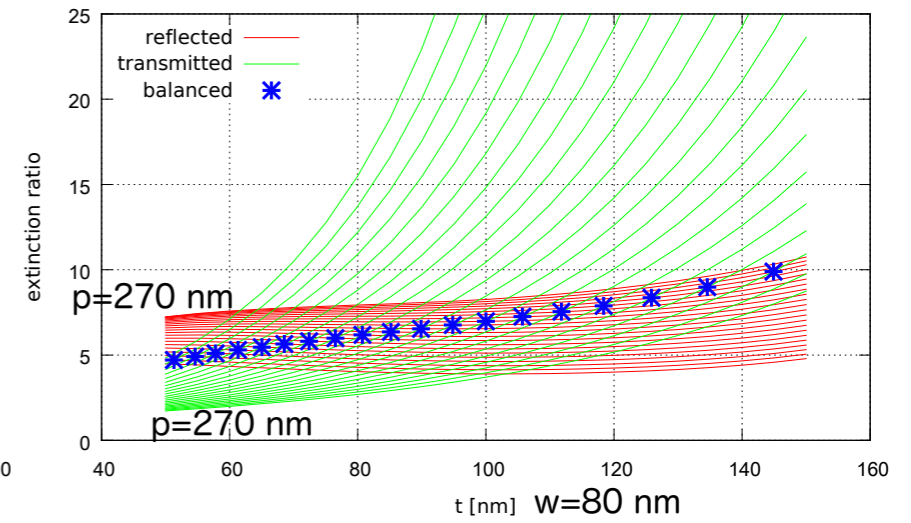
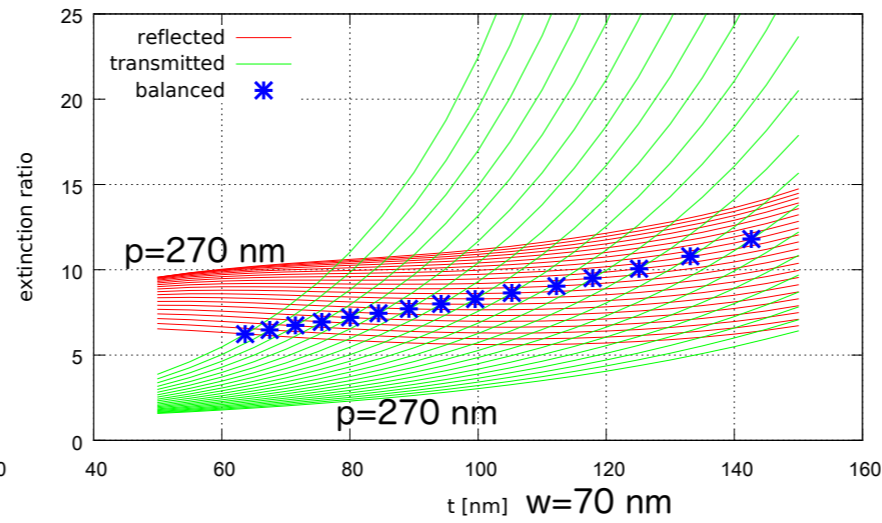
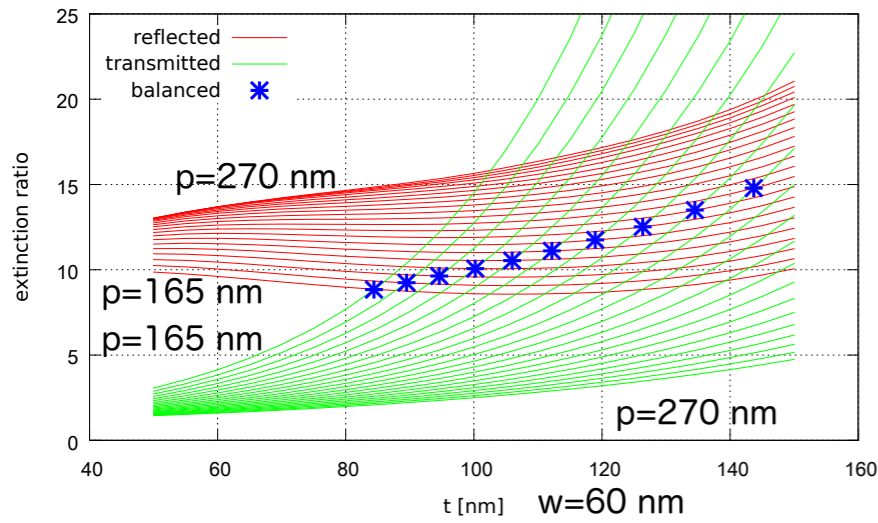
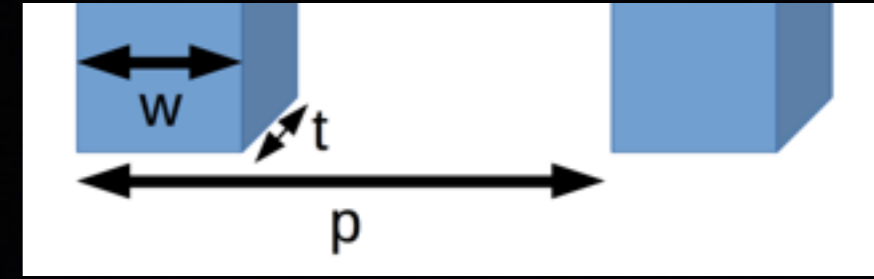
3. 計算結果

$\lambda = 800 \text{ nm}$

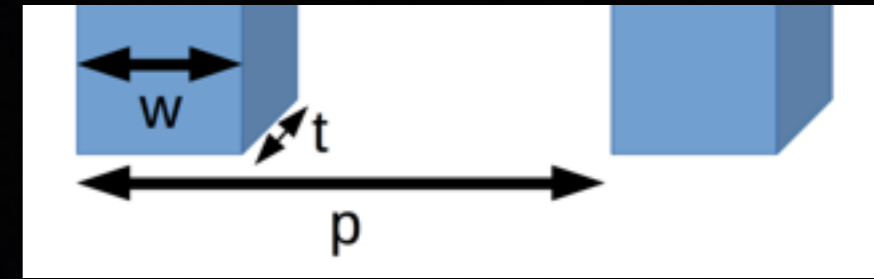


3. 計算結果

$\lambda = 700 \text{ nm}$



4. 考察



- 透過率、反射率、消光比

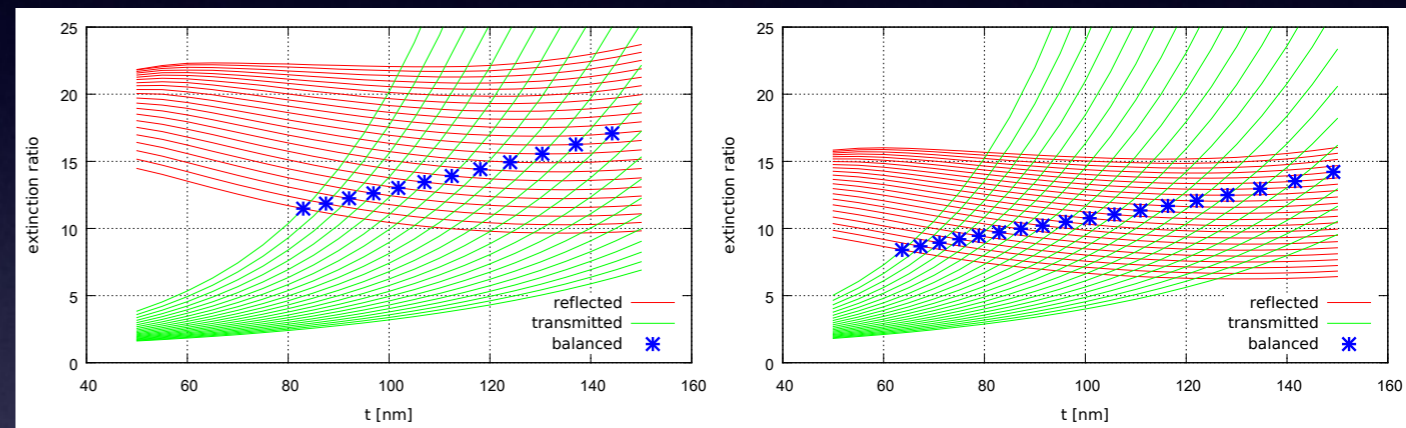
- 幅 w を太く(細く)する→透過側(反射側)の消光比が良くなる
- 間隔 p を狭く(広く)する→透過側(反射側)の消光比が良くなる

- 消光比のバランスする場所

- ✓ 間隔 p が大→厚さ t 也大

- ✓ 幅 w が大→厚さ t は小

- ✓ 製造のことを考えなければ、透過側・反射側ともに消光比10とすることも可能

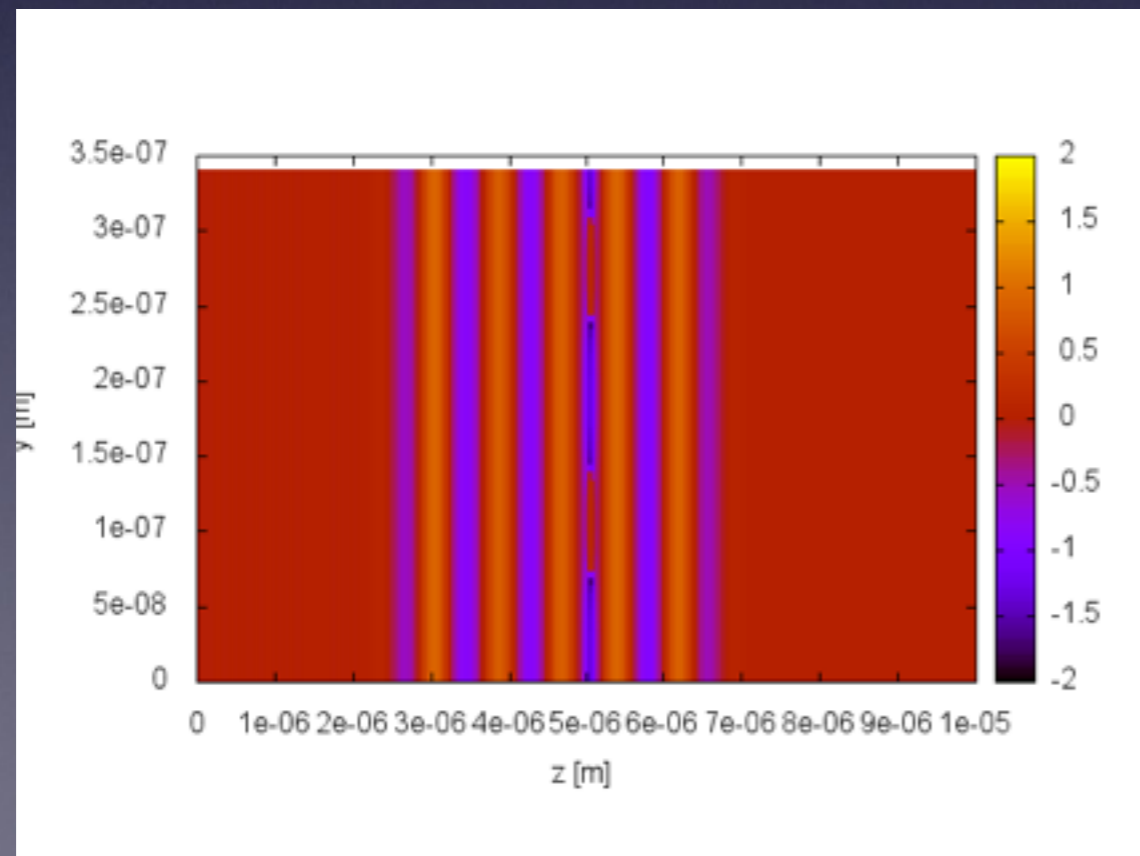


- 吸収

- グリッドと平行な成分は5%ほど吸収される
- 直交する成分はほとんど損失なし

5. 今後の展開

- ・ 偏光BSを模擬する
 - いきなりモデルを作るには解析領域が大きすぎる . . .
- ・ PSFを斜め伝搬する平面波に展開(要はフーリエ変換)
 - グリッドに斜め入射する場合を計算
 - 得られた透過率、反射率、位相ずれの効果を平面波の展開係数に反映、PSFの変化を予想



6. まとめ

- ・ 点回折干渉波面センサに用いる偏光BS(ワイヤーグリッド)
 - ワイヤーグリッドの電磁界解析 (FDTD法)
- ・ モデル
 - 金 (Drudeモデル)
 - 線幅 w 、ピッチ p 、厚さ t でグリッドの幾何学を指定
- ・ 消光比
 - 定性的に予想される振る舞いを確認
 - 消光比のパラメータ依存性も(大雑把に)わかった
 - 製造のことを考えなければ、透過側も反射側も10を超えるようなパラメータがある
- ・ 吸収はグリッドと平行な成分で起きる