

UCN偏極膜の冷中性子反射率測定

2021.07.13 – 2021.07.15

2021-07-12

樋口 嵩

測定の概要

- 測定の目的:
 - シリコン基板スパッタ鉄膜のUCN偏極膜への応用: 冷中性子反射率測定による性能評価が可能であることがメリット
 - 本測定: 異なる成膜条件の20 x 30 mm² のシリコン基板鉄膜サンプルでプロトタイプ測定。実際に以下の物理量を測定から抽出できることを実証することを目指す:
 - 磁化に必要な磁場の値 (H_c, H_s)
 - 完全磁化したときの磁気依存ポテンシャル ($\mu_n B_{sat}$)
 - 鉄膜厚み (VSMデータの較正に必要, →次ページ)
- スケジュール大枠
 - 7月13日 セットアップ、アラインメント調整, 偏極度測定
 - 7月14日 試料の測定
- 試料一覧:
 - a) Fe 30nm
 - b) Fe 50 nm
 - c) Fe 90 nm
 -
 - d) S45C 50 nm
 - e) Fe 4.2 um

↓ 時間があれば

(3分 x 2偏極パターン x 磁場9条件 = 54分/試料)

1日目(7/13)前半

一日目の目標: 最低でも偏極率測定まで、できればサンプルaの測定

- 残りの実験要素（上流および下流ミラー、スピンスリッパ）を設置 (1h)
（検出器はまだ設置しない）
- 磁気ミラーのアラインメントおよびスピンスリッパ・電磁石制御系準備 (4h)

アラインメント（市川、川崎、赤塚） (4h)

- 水準器等で数ミリ単位で位置合わせ
- レーザーでアラインメントの調整
- 上流からのレーザーでミラーの角度調整

制御系準備（三島、樋口、今城） (4h)

- スピンスリッパ制御 (2.5h)
 - ・ DC電源動作テスト
 - ・ DC電流値設定 (ヒステリシスに注意)、磁気プローブで測定して確認
 - ・ RF電源動作テスト
 - ・ RF電流値較正
- 電磁石制御 (1h)
 - ・ 電源動作テスト
 - ・ 電流値較正
- DAQに組み込み (0.5h)

■ 偏極度測定準備 (3h)

- ・ 磁気ミラー、フリッパ、電磁石を設置した状態で磁気プローブで磁場測定 (1h)
 - ・ DC磁場がRFコイル内で共鳴点を通過しているか確認
- ・ 検出器設置 (0.5h)
- ・ ビームを出して、アラインメント再調整 (1.5h)
 - ・ 検出器の位置調整
 - ・ ミラーの微調整
 - ・ スリット調整

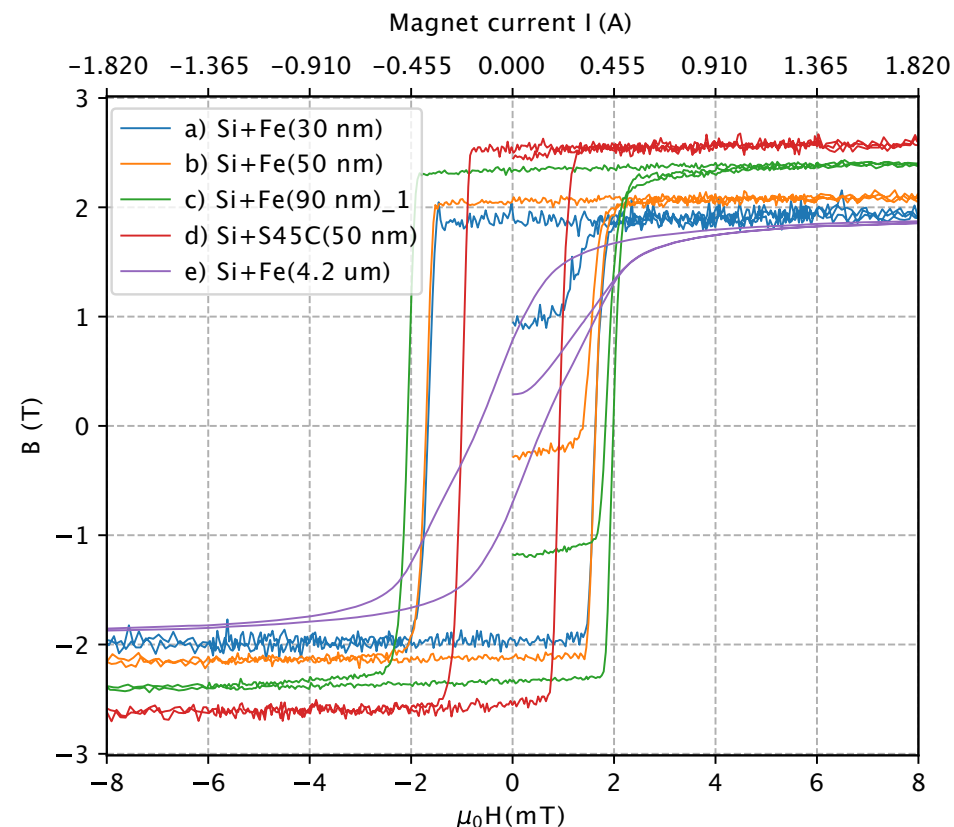
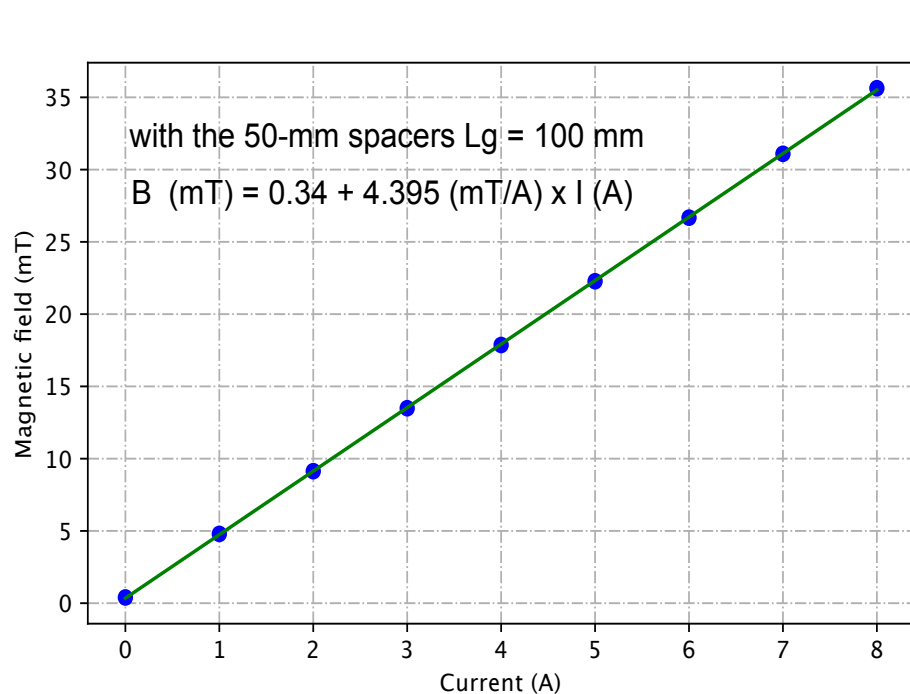
1日目(7/13)後半

- 偏極率測定 (1.6h)
 - バックグラウンド測定 (0.1 h)
 - 偏極ミラーの偏極度測定 (SF OFF) (1h)
 - ダイレクトビームを測る必要はないか、事前に確認 (測るなら一旦ミラーを外すことになる)
 - SFにスピン反転率測定 (0.5h)
- サンプルa 測定準備 (2.6h)
 - 下流の偏極ミラー取り外しサンプルa設置 (0.5h)
 - 再アライメント・角度調整 (2h)
 - レーザーでアラインメント確認
 - ビームで角度微調整
 - Test run (0.1h)
- サンプルa測定 overnight run (11h)

2日目(7/14)

- サンプルb 測定(計3.7 h)
 - 試料取替 (0.5h)
 - アラインメント再調整 (1h)
 - レーザーによるアラインメント (0.4 h)
 - 中性子ビームによるアラインメント (0.4 h)
 - スリット調整 (0.2h)
 - Test run (0.2h)
 - 測定 (2h)
- サンプルc 測定(計3.7 h)
 - 試料取替・調整 (同上 1.5h)
 - Test run (0.2h)
 - 測定 (2h)
- サンプルd 測定(計3.7 h)
- サンプルe 測定(計3.7 h)

電磁石の励磁直線・試料の磁化特性



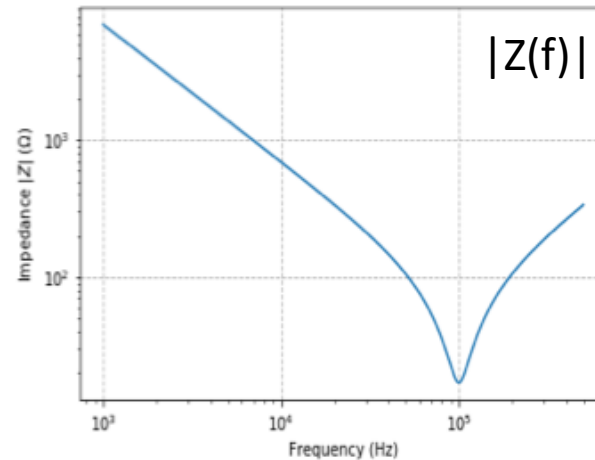
- 電磁石: 1 A (磁場4.3 mT)でほぼ完全飽和
- 保磁力の定義
 - H_c := BHカーブと $B=0$ の交点
 - H_s := B_{sat} の95%に対応する H (飽和させるのに必要な磁場)
- BH カーブの縦軸を磁束密度に変換する際に試料の体積が必要
→ 厚みの見積もりの誤差が $B_{sat} > 2$ T の原因

Sample	Hc (Oe)	Hs (Oe)	Bs (Oe)
a) Si+Fe(30 nm)	16. 5	29.8	21553
b) Si+Fe(50 nm)	16.7	24.5	22373
c) Si+Fe(90 nm)	20.30	45.5	24879
d) Si+S45C(50 nm)	9.65	20.5	27402
e) Si+Fe(4.2 μ m)	6.33	66.8	19297

AFP spin flipper パラメータ(赤塚くん資料参照)

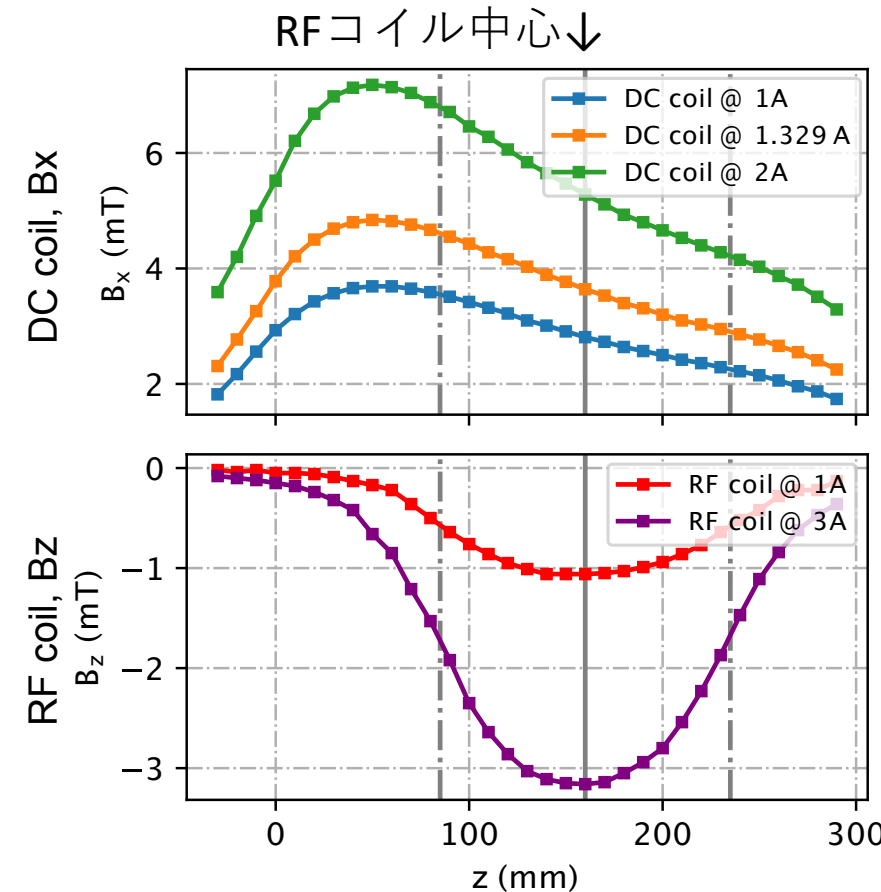
- RFコイル

- 共鳴周波数 $f_c = 106.3 \text{ kHz} \leftrightarrow B_z = 3.645 \text{ mT}$
- $|Z(f=f_c)| = 17 \Omega$
- $B_{z, \text{RF}}(z=160 \text{ mm}) = -1 \text{ mT/A} * I_{\text{RF}}(\text{A})$



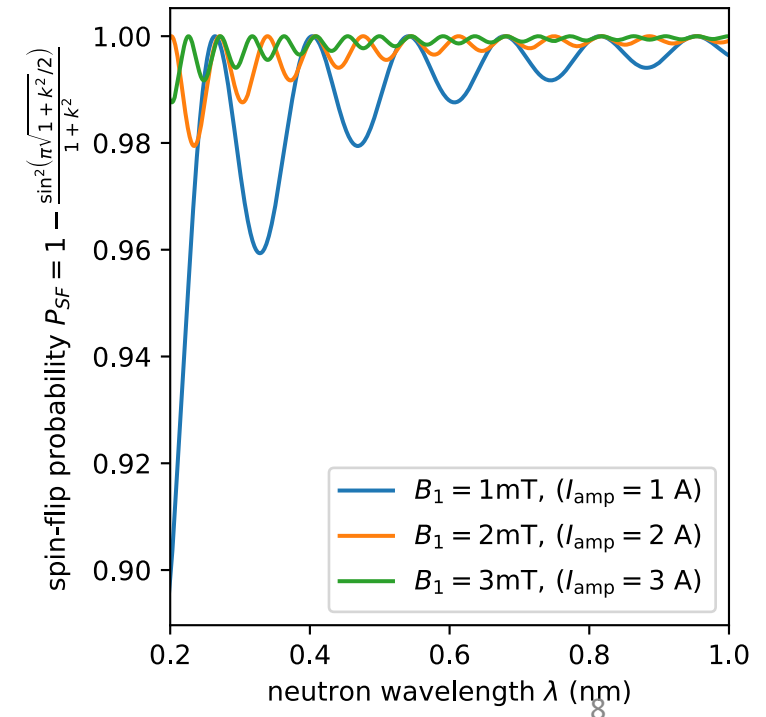
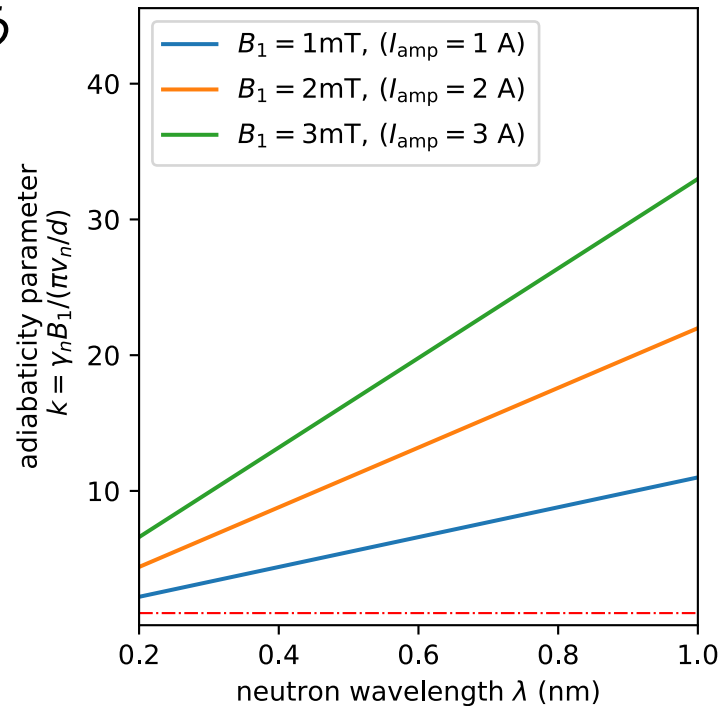
- DCコイル

- $B_x, \text{DC}(z=160 \text{ mm}) = 2.503 \text{ mT/A} * I_{\text{DC}} (\text{A}) + 0.332 \text{ mT}$
(ただしヒステリシスあり)
- 磁場0から上げていった時、 $I_{\text{DC}} = 1.329 \text{ A}$ でRFコイル中心で $B_x = 3.645 \text{ mT}$ 達成



AFP spin-flipper スピン反転率見積もり

- RFコイル電流: $I_{pp} = 2\text{A} \leftrightarrow I_{amp} = 4\text{A}$ まで使用可能
- [Grigoriev et al.](#) に基づき、adiabaticity parameter k とスピン反転率を見積もり (RFコイル長さ $d = 0.15\text{m}$)
 $\Rightarrow I_{amp} = 2\text{A}$ くらいはほしいところ
- $B_0 = 3.645\text{ mT}$ をこえないためには $B_{RF} < 3\text{ mT} \leftrightarrow I_{amp} < 3\text{A}$
- 回転磁場の変わりに振動磁場を使うので 振幅1/2
- $I_{amp} = 2\text{A}$ ($I_{pp}=4\text{A}$) が適切



測定手順（それぞれの試料について）

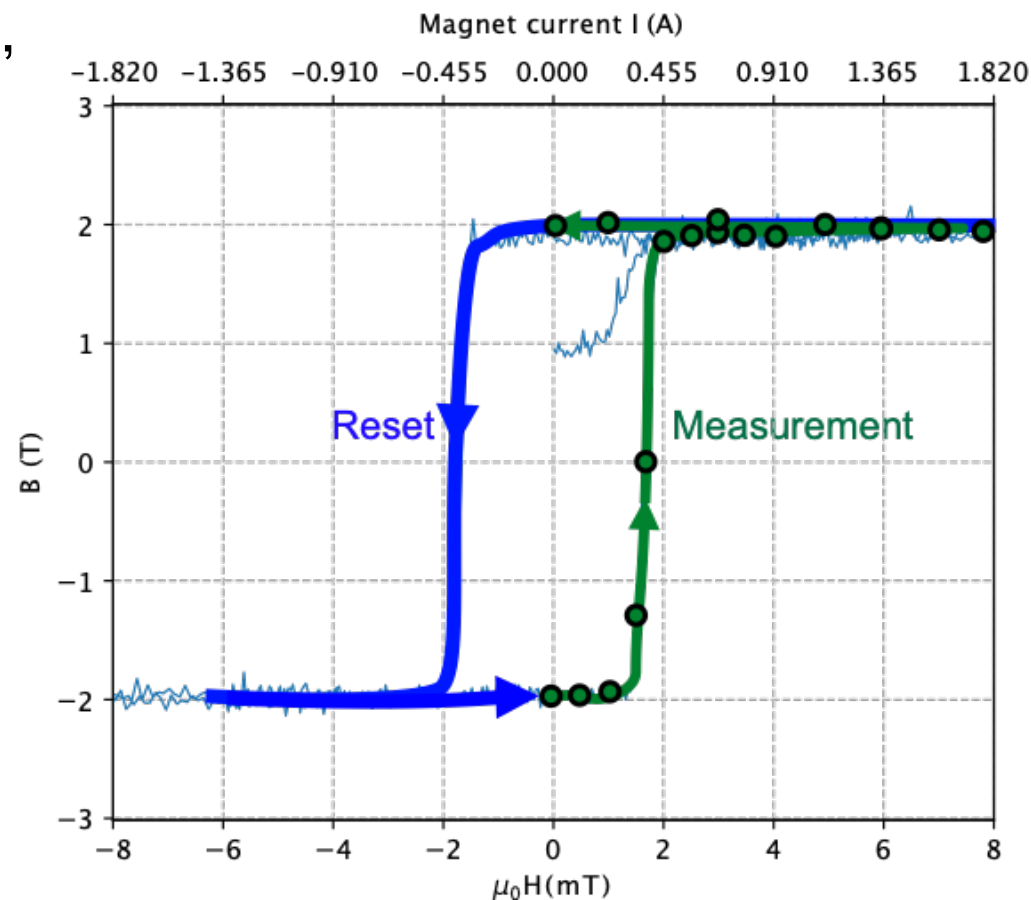
- 試料設置・位置調整
- 測定前に $H = -2A$ (負の向きに磁化させる)
【エリアに立ち入って電磁石の入力ケーブルを逆転】

- 磁場 $\{H_i\}$ にそって磁場を上げていく,
それぞれの磁場印加値に対して

- 上偏極の時の反射率 (SF: OFF)
 - 下偏極の時の反射率 (SF: ON)
- を測定

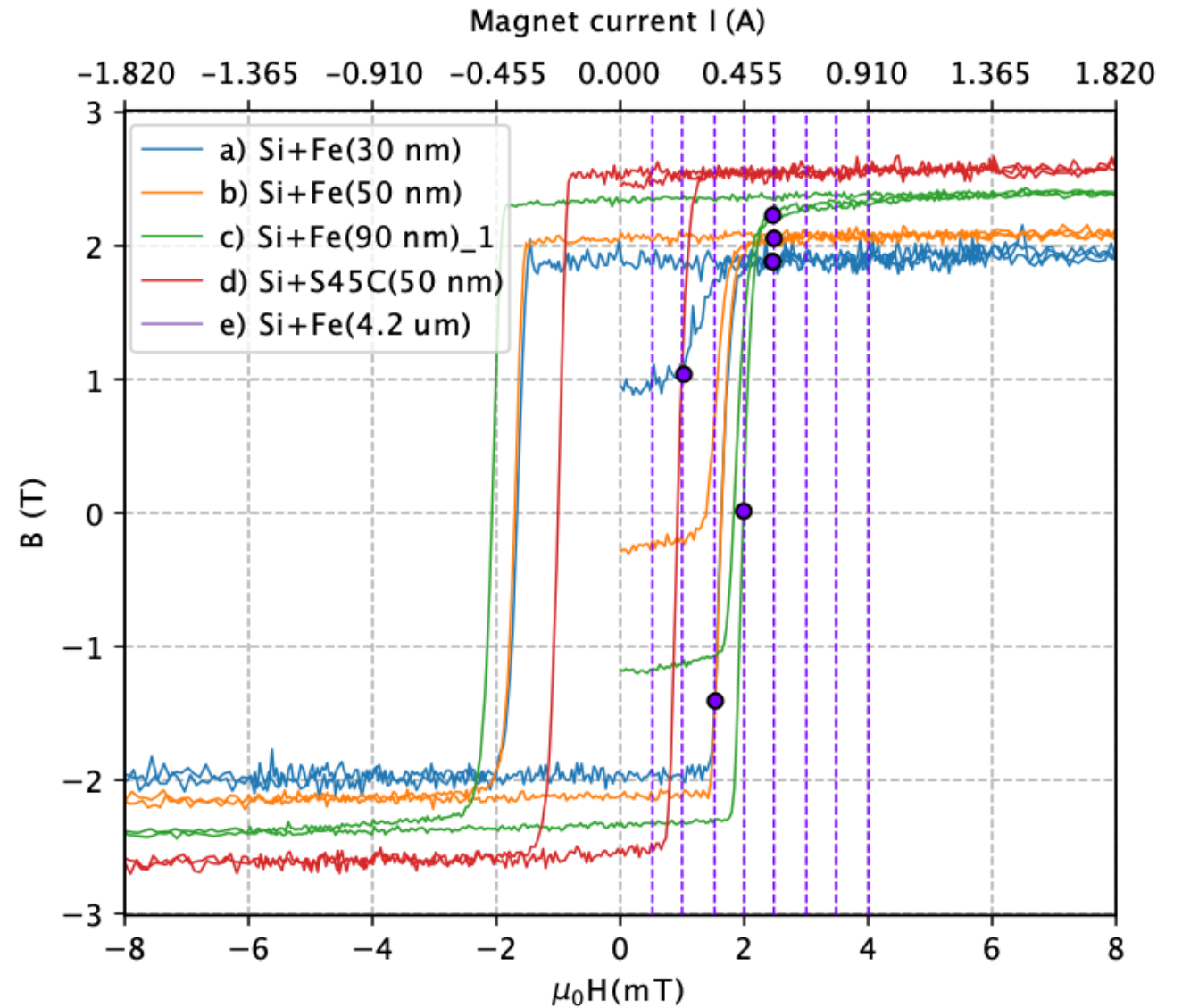
$\{H_i\} = \{0, 0.5, 1.0, \dots, 3.5, 4.0,$
5.0, 6.0, 7.0, 8.0,
3.0, 1.0, 0.0 mT} (仮)
(最初の測定で試して確定)

- 立ち上がりの前後(H_c 前後)を取りたい
- 完全に立ち上がったところを取りたい



	B	I
0	0.0	0.000000
1	0.5	0.036405
2	1.0	0.150171
3	1.5	0.263936
4	2.0	0.377702
5	2.5	0.491468
6	3.0	0.605233
7	3.5	0.718999
8	4.0	0.832765
9	5.0	1.060296
10	6.0	1.287827
11	7.0	1.515358
12	8.0	1.742890
13	5.0	1.060296
14	3.0	0.605233
15	1.0	0.150171
16	0.0	0.000000

磁場印加値候補



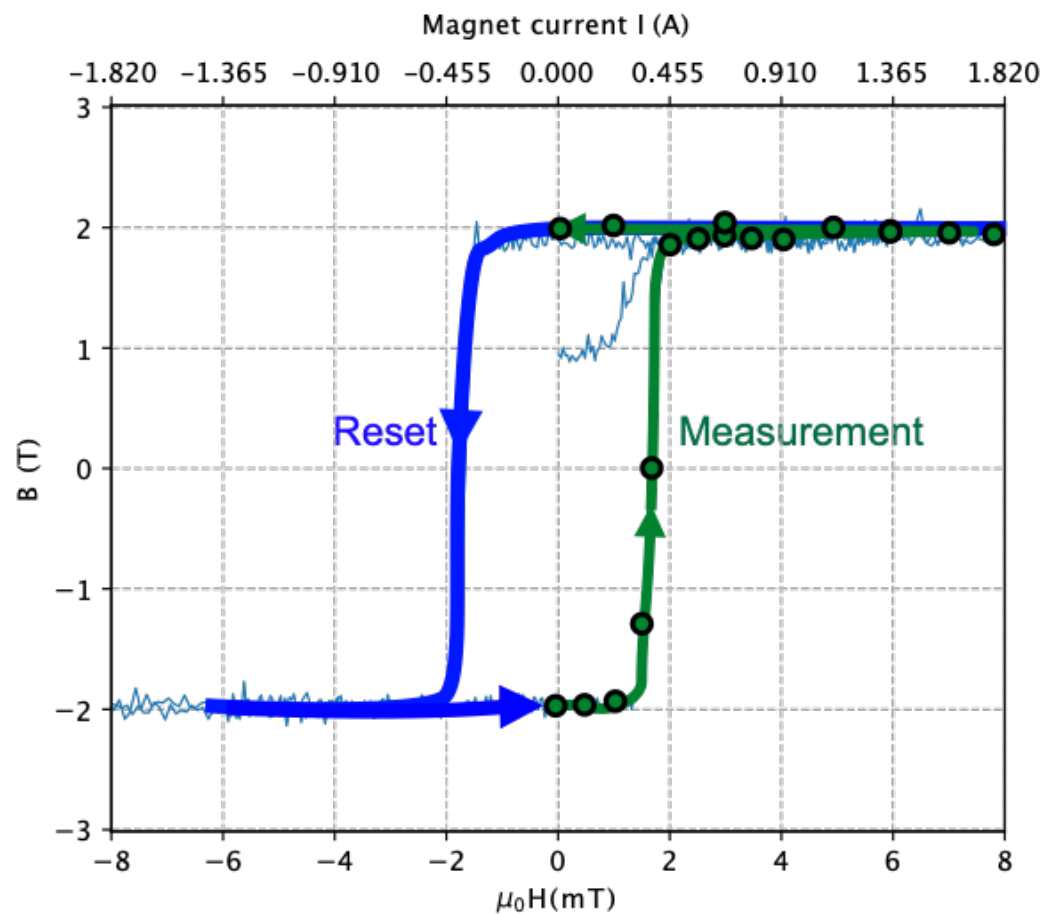
- 0.5 mT 刻みで試料ごとの H_c 付近の立ち上がりの違いを見分けられるはず

予想される信号

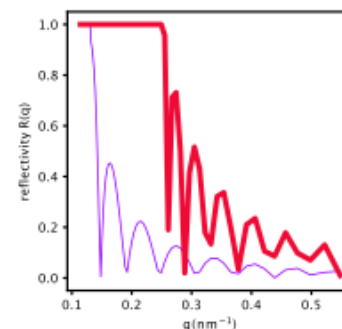
- $V = 209 \pm 60.3 \cdot B[\text{T}] \text{ neV}$

- $B = 2\text{T}, V = 88.4 \text{ neV}$
 $\leftrightarrow q_c = 0.13 \text{ nm}^{-1}$

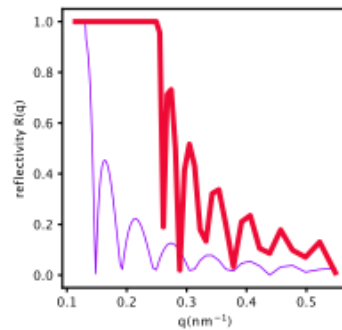
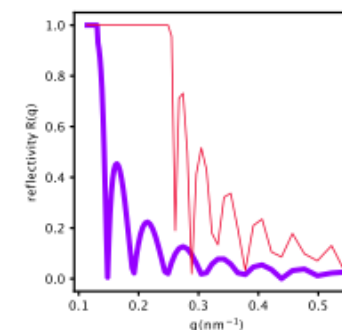
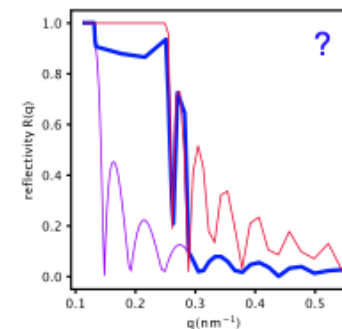
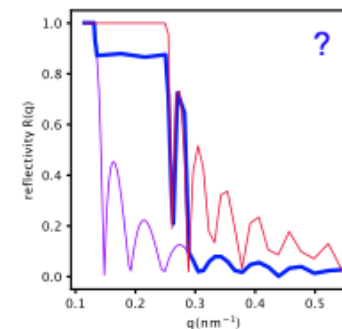
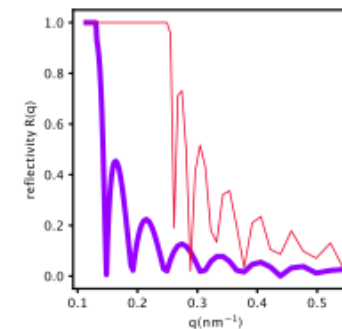
- $B = -2\text{T}, V = 329.6 \text{ neV}$
 $\leftrightarrow q_c = 0.25 \text{ nm}^{-1}$



(for spin=↓)



(for spin=↑)



中性子波長スペクトル・測定時間見積もり

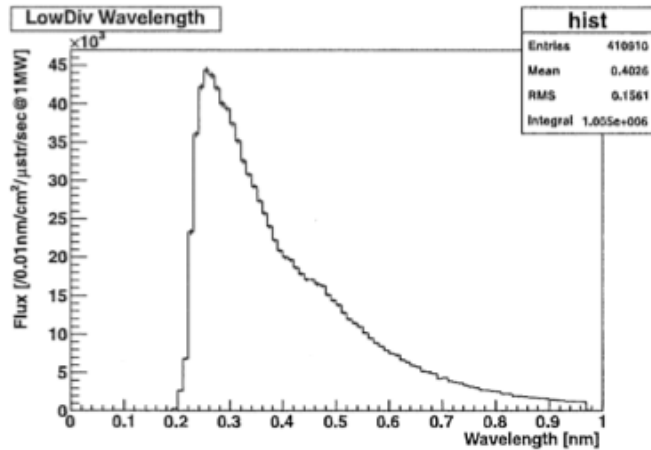
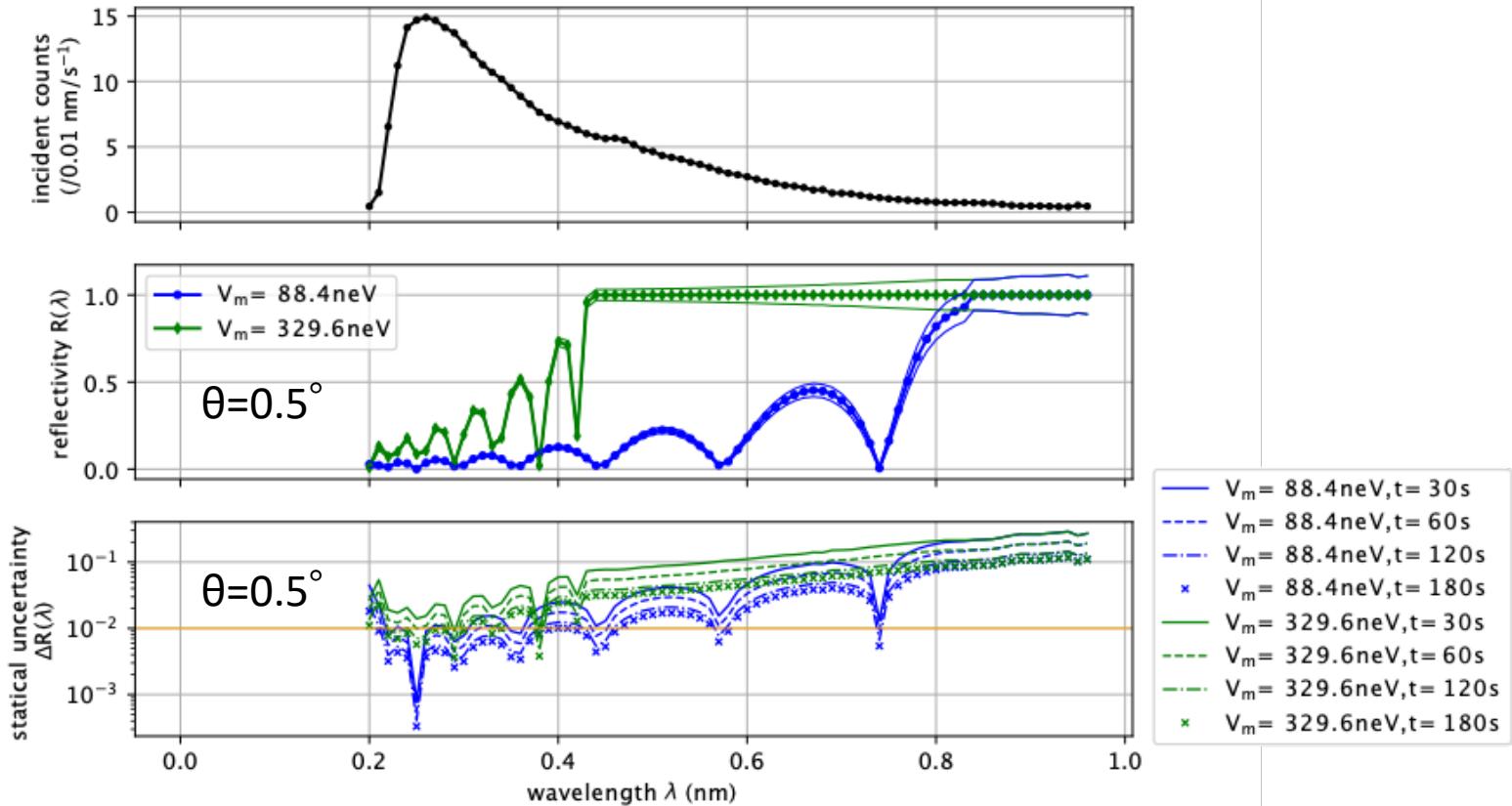


Fig. 10 A spectrum of neutron wavelength at the exit of Low-Divergence beam branch in beam spot of 30 mm × 1 mm.

https://doi.org/10.5611/hamon.25.2_156



■ カウントレートの見積もり

- ビームを $1 \times 10 \text{ mm}^2 (= 0.1 \text{ cm}^2, \leftrightarrow 0.03 \text{ } \mu\text{str})$ に絞るとすると
⇒ 全波長域積分で 10 kcps 程度

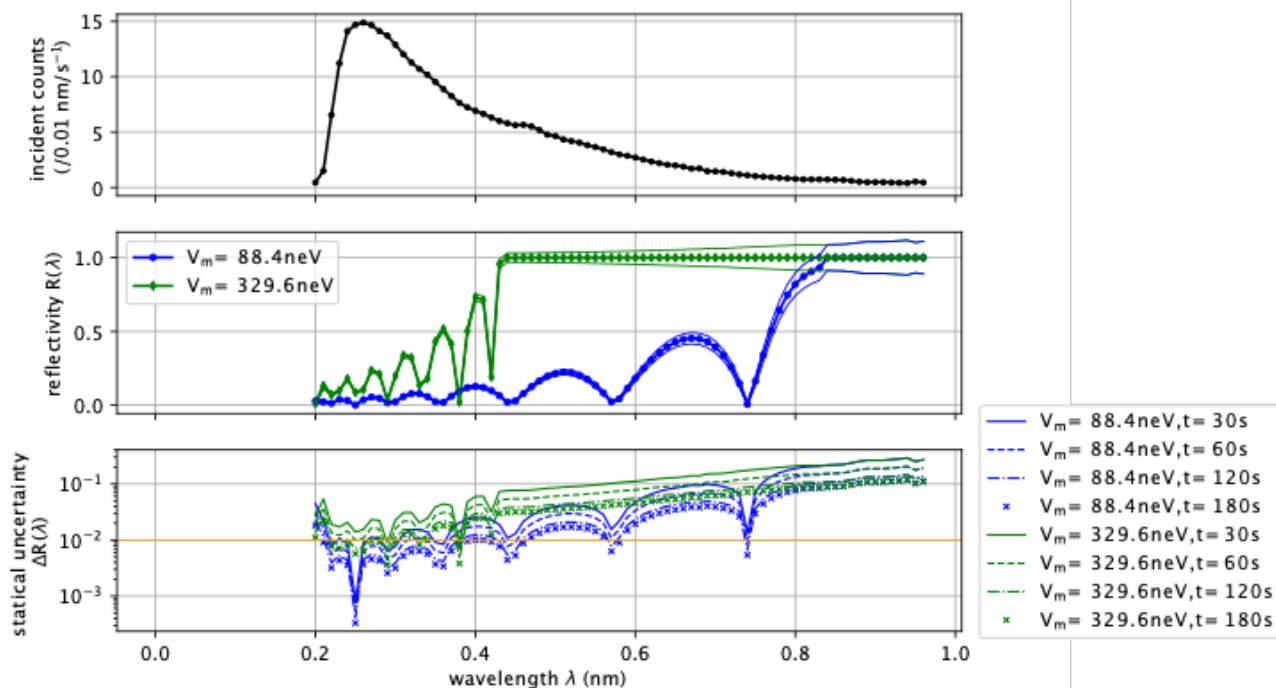
■ 反射ビームのカウント見積もり

- $t=180 \text{ s}$ で 主な 波長域で 誤差 < 1%

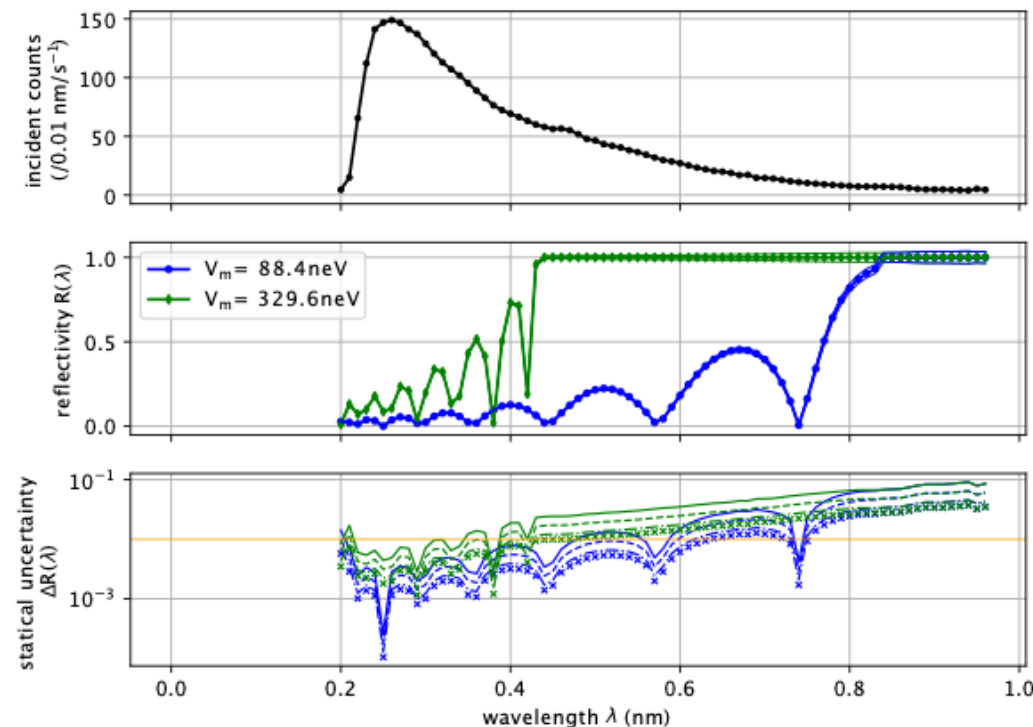
(すべて Bin幅 **0.01 nm**)
(ミラーの反射率波長依存性は無視している)

中性子波長スペクトル・測定時間見積もり

Slit= 1x1 mm, $\theta=0.5^\circ$



Slit= 1x10 mm, $\theta=0.5^\circ$



■ カウントレートの見積もり

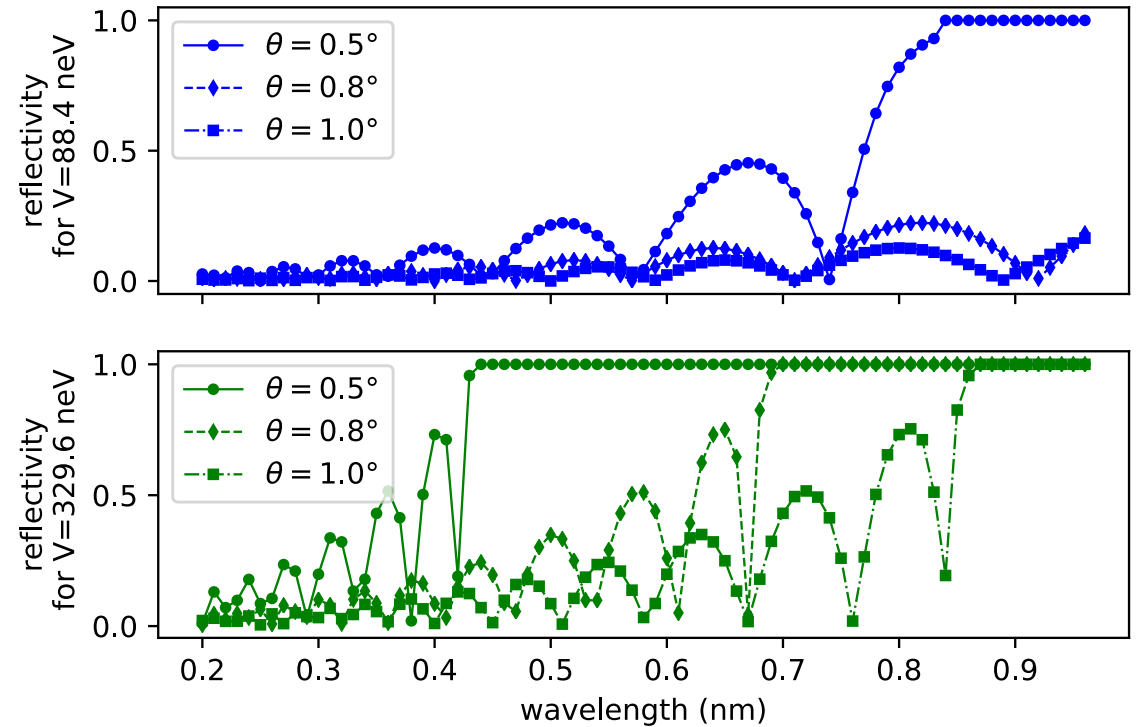
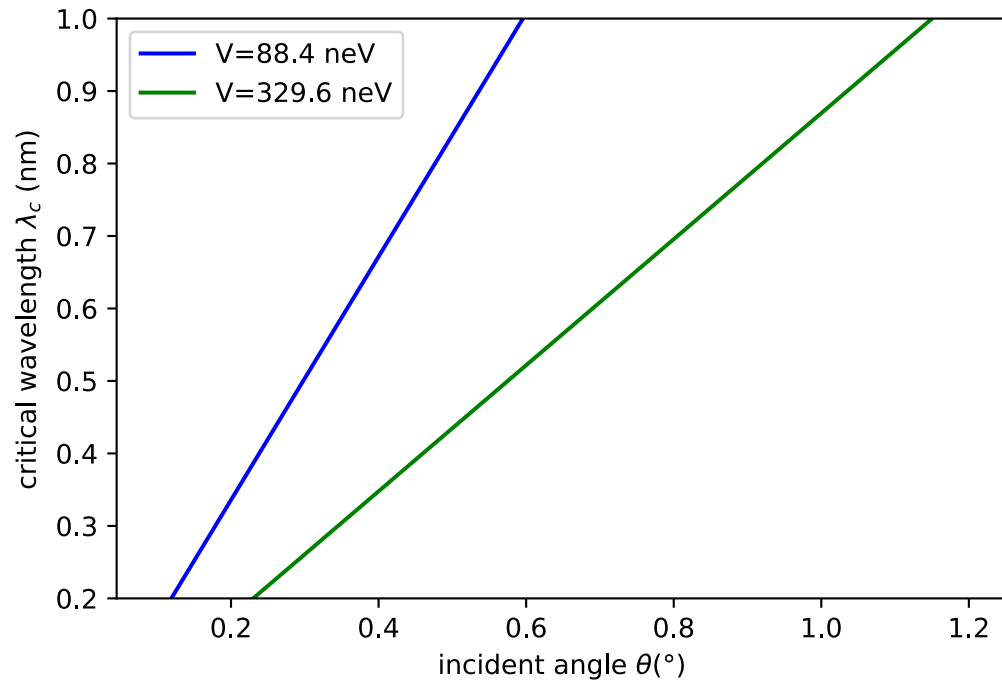
- ビームを $1 \times 10 \text{ mm}^2$ ($= 0.1 \text{ cm}^2$, $\leftrightarrow 0.03 \text{ } \mu\text{str}$) に絞るとすると
⇒ 全波長域積分で 10 kcps 程度

■ 反射ビームのカウント見積もり (slit: 1mmx10mmの場合)

- $t=180 \text{ s}$ で 主な 波長域で 誤差 $< 1\%$

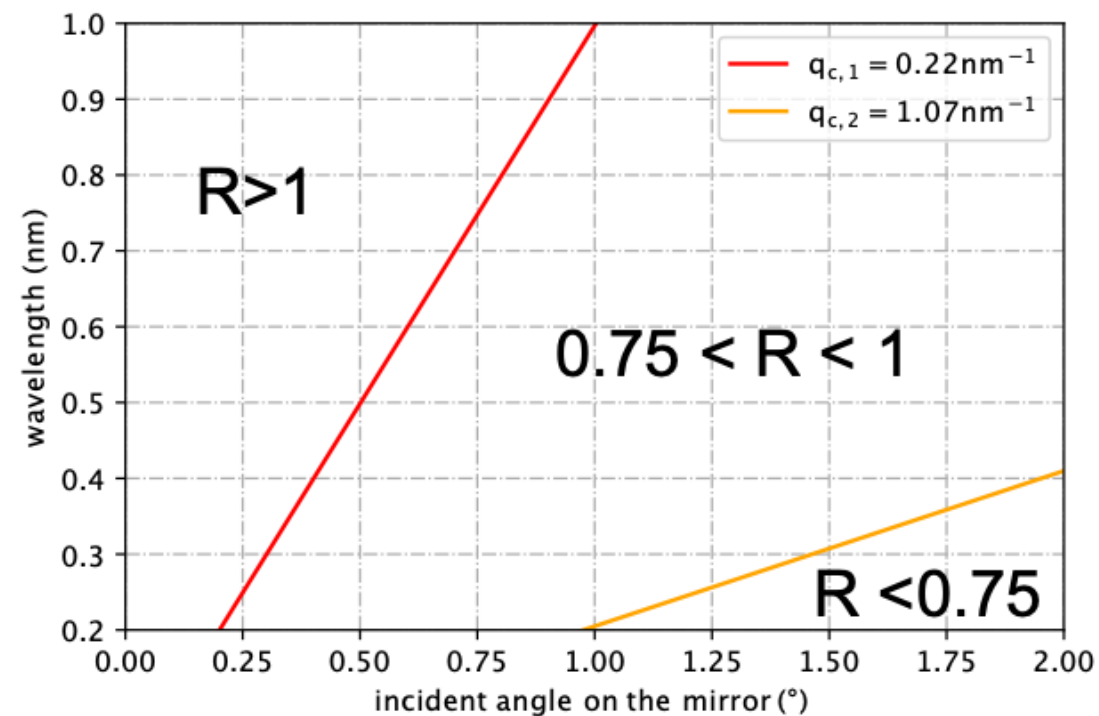
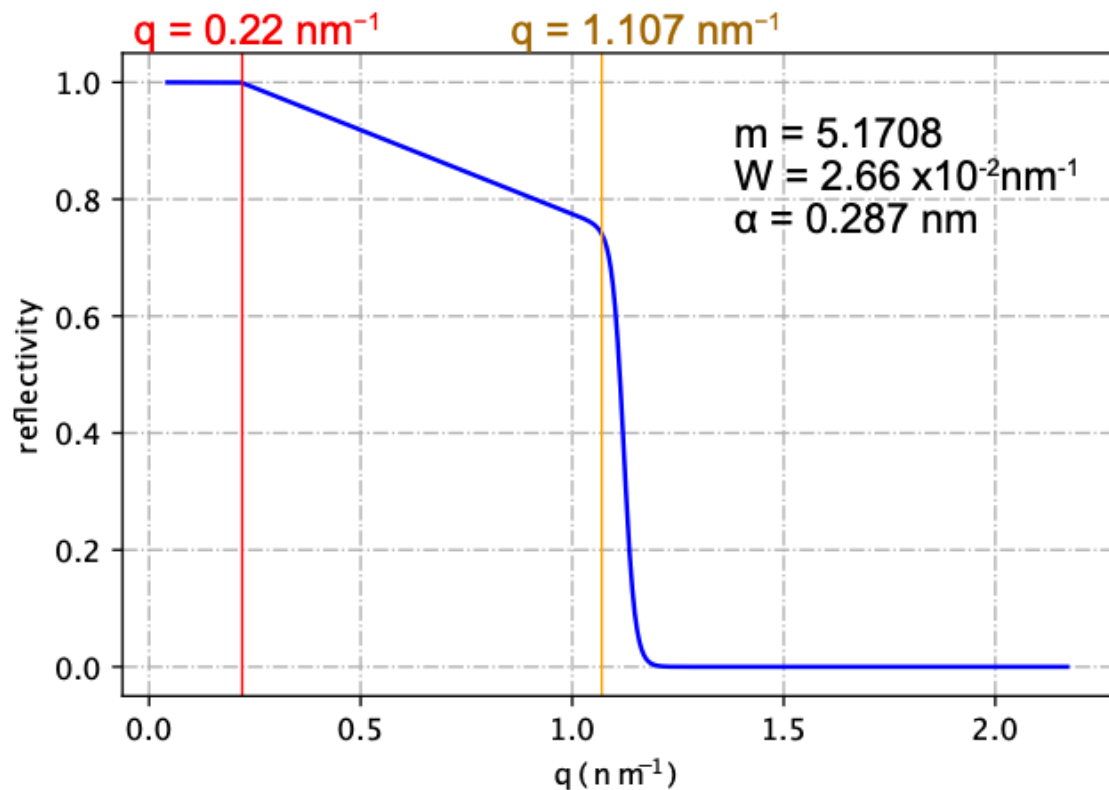
(すべて Bin幅 **0.01 nm**)
(ミラーの反射率波長依存性は無視)

入射角の検討



- 低発散ブランチの波長域に臨界波長が収まるためには $0.22^\circ < \theta < 0.6^\circ$
- カウントの低い高波長テールに臨界波長があたるのは不利なため、 $< 0.5^\circ$ が望ましい

磁気ミラー入射角の検討



- 過去にBL05で測定された寿命実験用磁気ミラーの反射率特性を参照 ($m \sim 5$)
(横橋 麻美, 修士論文, 名古屋大, 2017)
- $\theta < 1^\circ$ ならば全波長域で $R > 0.75$ 、さらに小さければなお良い

磁気ミラー透過後のスペクトル

