

重水素化Diamond-Like Carbonの 中性子反射率測定

2012/02/27

J6207048 櫻井大

目次

- ▶ 研究目的
- ▶ 実験概要・結果
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ RBS/ERDA実験(筑波大学)
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望



目次

- ▶ 研究目的
- ▶ 実験概要・結果
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ RBS/ERDA実験(筑波大学)
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望



研究目的

- ▶ 中性子に対するポテンシャルと密度の関係式。

$$\begin{aligned} V &= \frac{2\pi\hbar}{m_n} \sum_i b_i N_i \\ &= 260.39 \times (b_C N_C + b_H N_H + b_D N_D) [\text{neV}] \\ &= 260.39 N_C \times \left(b_C + b_H \frac{N_H}{N_C} + b_D \frac{N_D}{N_C} \right) [\text{neV}] \end{aligned}$$

$$N_C = \rho_M [\text{gcm}^{-3}] \times \frac{N_A}{12}$$

DLCの組成は($C_x H_y$)で密度
 2.5g/cm^3 , C を80%, H を20%とすると

$$V_{DLC} = 187 [\text{neV}]$$

と予想される。今回それを重水素化することで

$$V_{DLC} = 271 [\text{neV}]$$

となり高い反射率が期待できる。

N_A : アボガドロ数
 b_{coh} : 中性子散乱長 [10^{-13}cm]
 N : 核数密度 [cm^{-3}]

物質	b_{coh}
H	-3.74
D	6.67

二つの測定から

$$XRR \rightarrow \rho_M$$

$$RBS \text{ ERDA} \rightarrow \frac{N_H}{N_C}, \frac{N_D}{N_C}$$

を得ることができる。

目次

- ▶ 研究目的
- ▶ **実験概要・結果**
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ RBS/ERDA実験(筑波大学)
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望

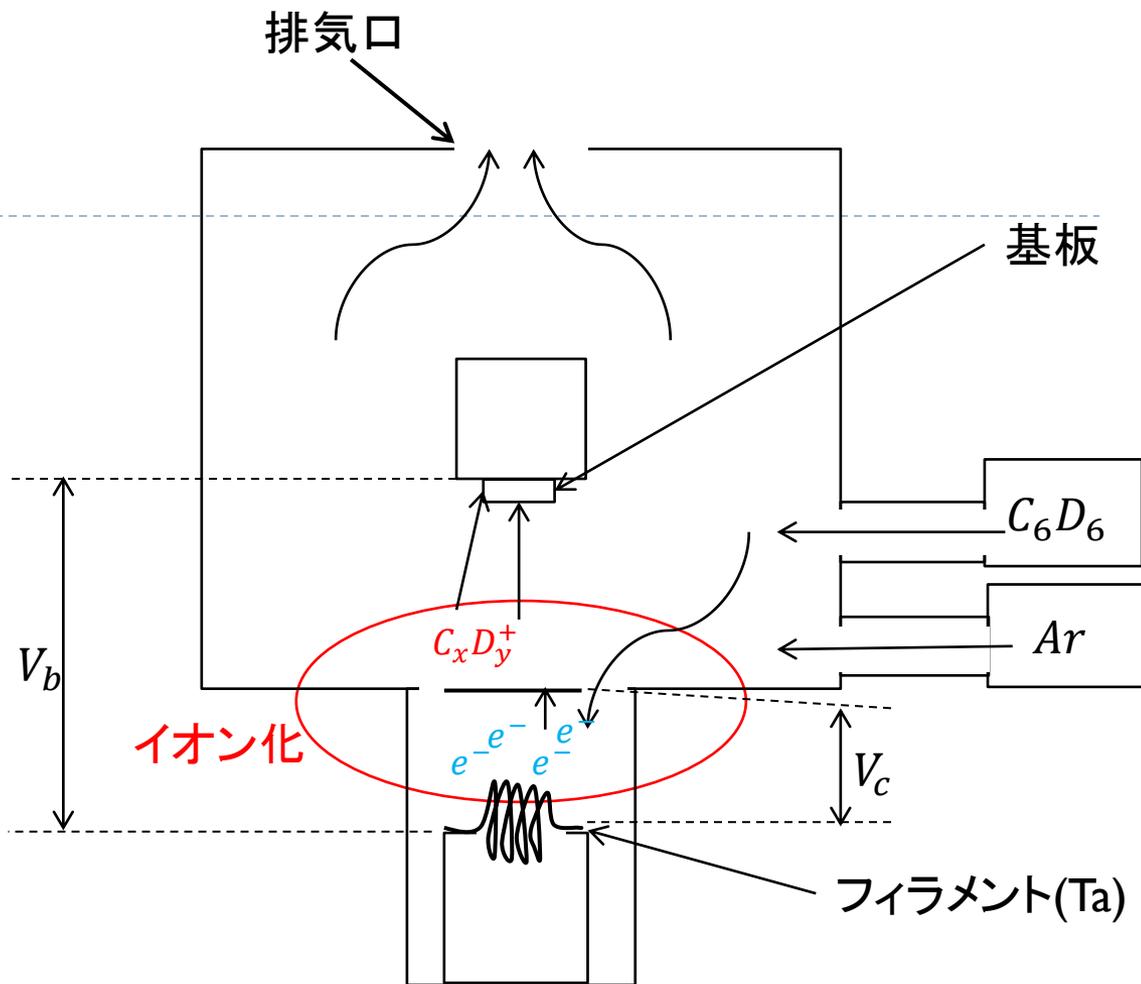


成膜方法



ナノテック株式会社
MULTI PVDコーティング
ICF-330シリーズ

今回の実験では基板電圧のみをパラメータとし0.5kV、1.5kV、3.0kVの三点を重水素、軽水素の場合それぞれ、つまり試料6個をそれぞれの実験で測定し、基板電圧値とポテンシャルの関係を見た



~~イオン化蒸着法~~

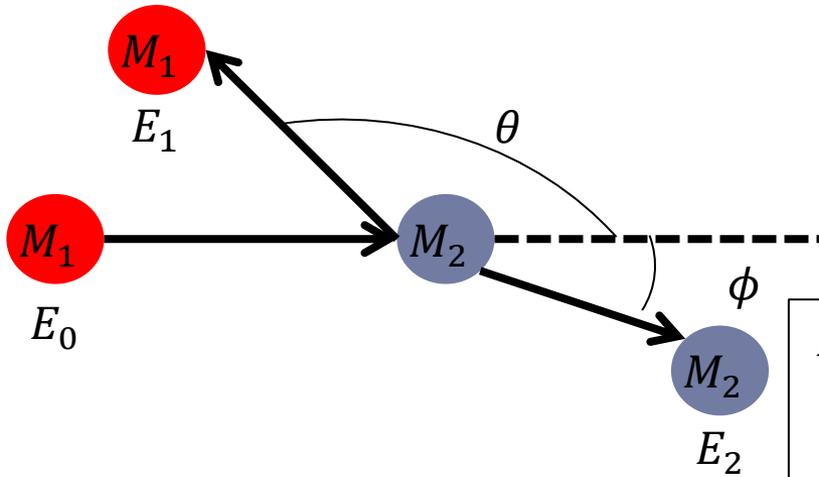
フィラメントに電流を流し熱電子を放出させる。その電子とガスとを反応させイオン化し、電圧で引っ張り成膜する。電流値はおおよそmAのオーダーとなる。

目次

- ▶ 研究目的
- ▶ **実験概要・結果**
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ **RBS/ERDA実験(筑波大学)**
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望



RBS/ERDA実験

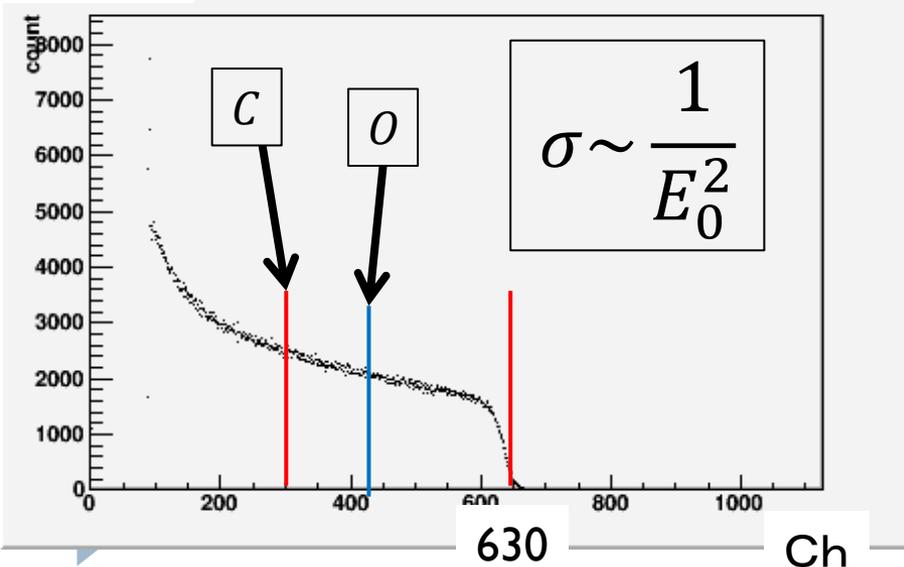


$$E_1 = \left(\frac{M_1 \cos \theta + \sqrt{M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \theta}}{M_1 + M_2} \right)^2 E_0$$

E_0 : 入射エネルギー
 E_1 : 散乱エネルギー
 M_1 : 入射イオン質量
 M_2 : 標的原子質量

式より
 $M_1 = 4$ $E_0 = 2.5\text{MeV}$
 $\theta = 150^\circ$
 とすると

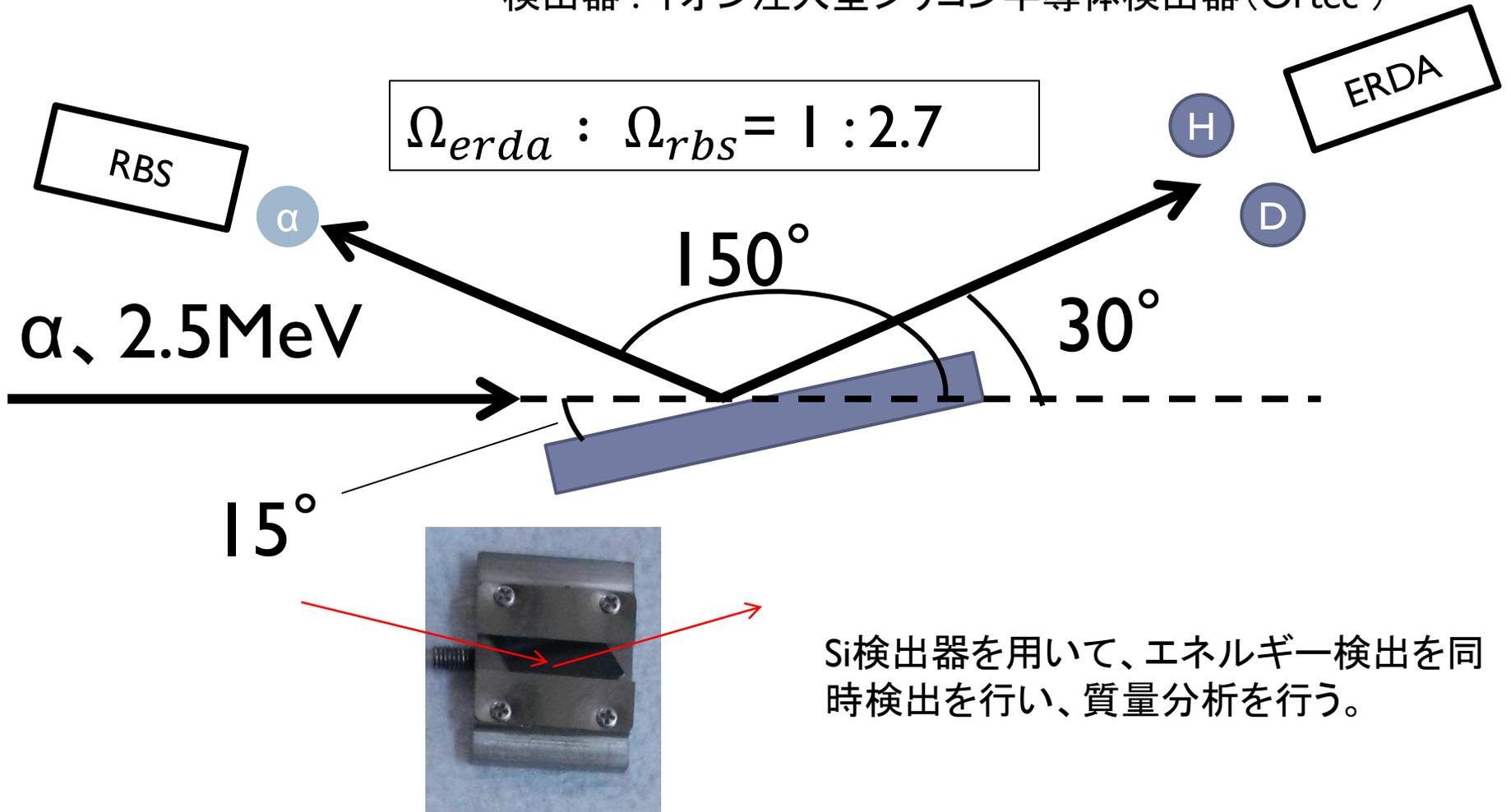
カウント



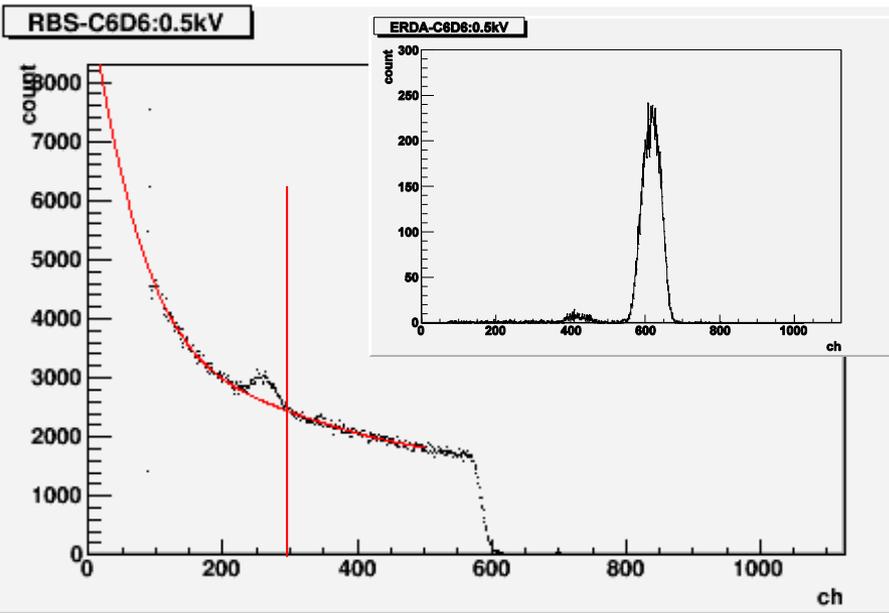
標的原子	衝突後 E_1	Ch換算
C(12)	0.693MeV	300ch
O(16)	0.935MeV	416ch
Si(28)	1.46MeV	630ch

RBS/ERDA実験

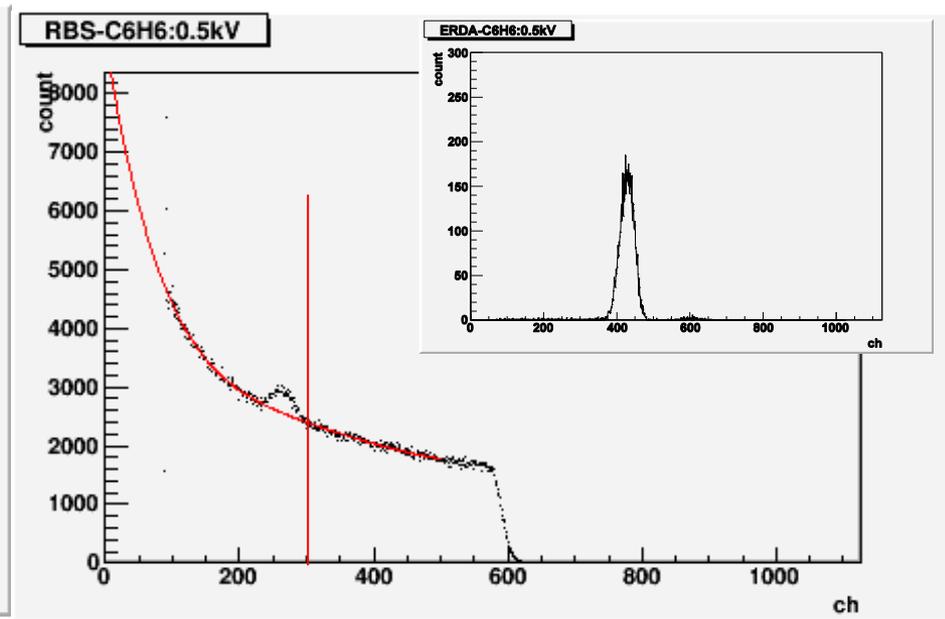
検出器：イオン注入型シリコン半導体検出器 (Ortec)



RBS/ERDA実験



重水素成膜



軽水素成膜

I_0 : 入射強度

$N_{C,H,D}$: C, H, Dの粒子数

A : 入射面積

$$Y_C = I_0 \frac{N_C \times \sigma_C}{A} \Omega_{RBS}$$

$$Y_H = I_0 \frac{N_H \times \sigma_H}{A} \Omega_{ERDA}$$

$$Y_D = I_0 \frac{N_D \times \sigma_D}{A} \Omega_{ERDA}$$

ここから比率で求める

目次

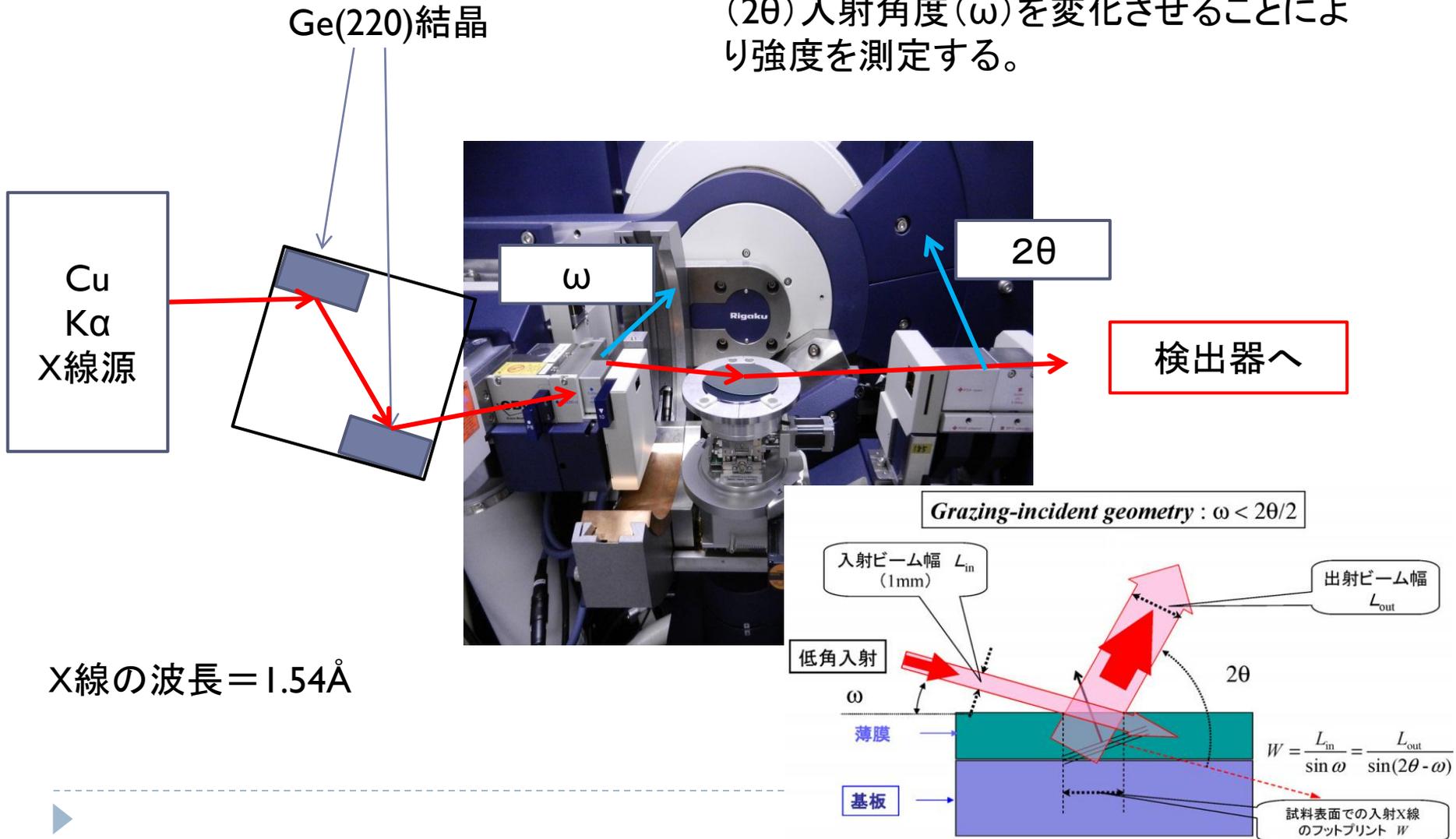
- ▶ 研究目的
- ▶ **実験概要・結果**
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ RBS/ERDA実験(筑波大学)
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望



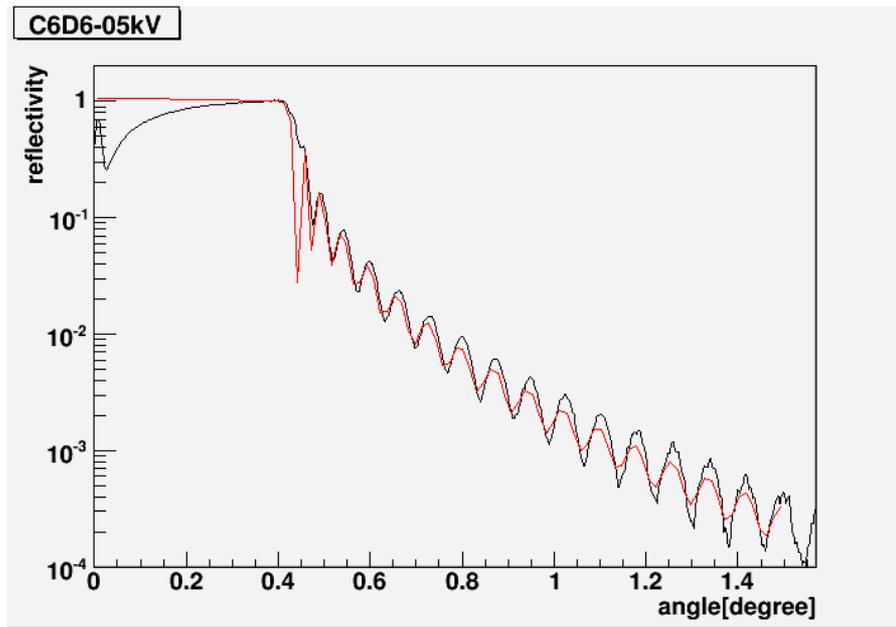
XRR実験

Cuに電子線を放射して、特性x線を生み出す。そのx線をGe220結晶で単波長化。

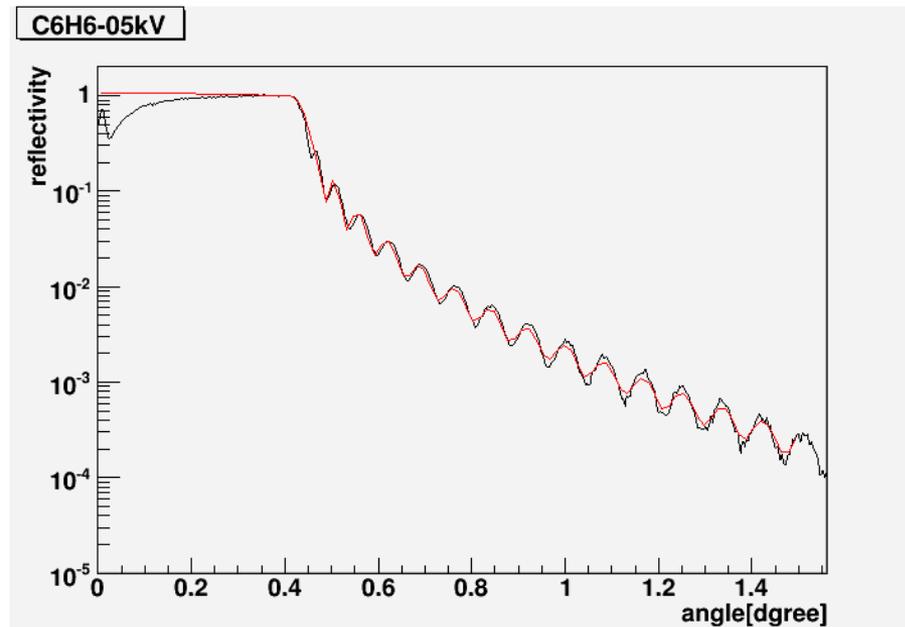
低角入射に対して検出器の角度を固定。
(2θ) 入射角度(ω)を変化させることにより強度を測定する。



XRR実験



密度: 2.08[g/cm³]



密度: 2.14[g/cm³]

$$r_{01} = \frac{r_{01}^F + r_{12}^F \exp(2ik_{1,z}d)}{1 + r_{01}^F r_{12}^F \exp(2ik_{1,z}d)}, R = |r_{01}|^2$$

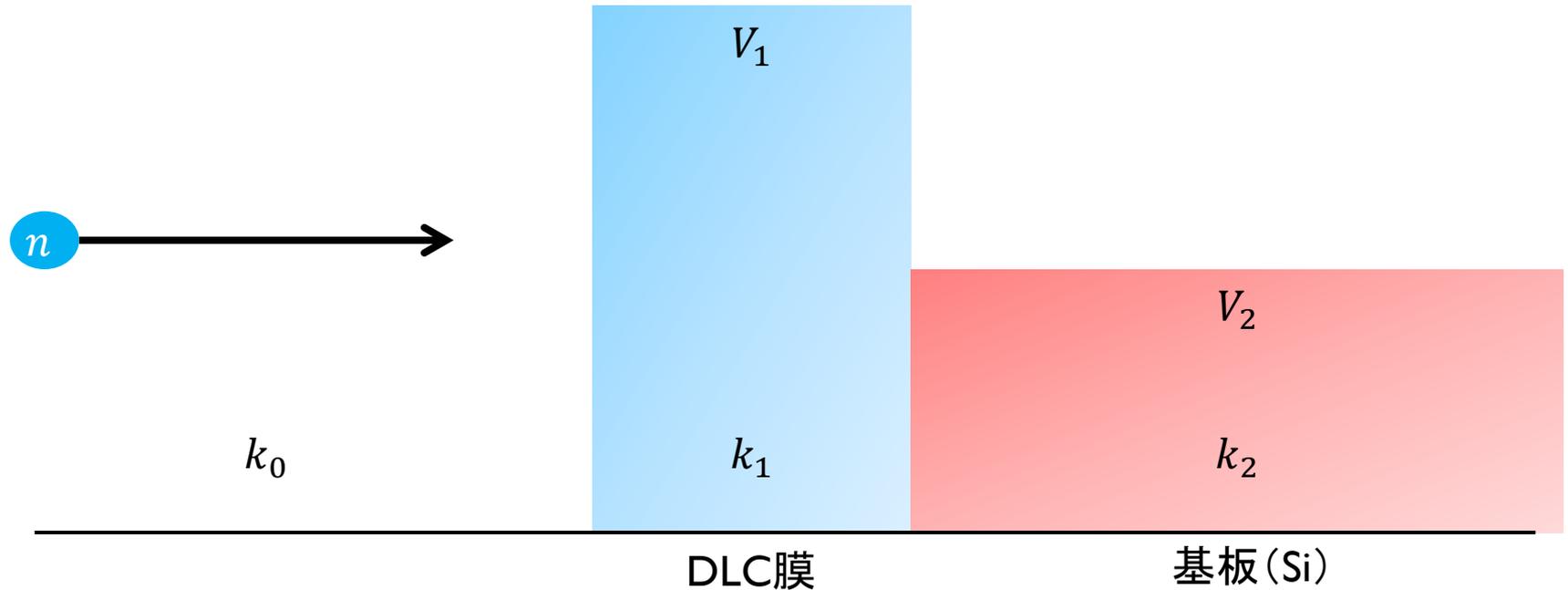


目次

- ▶ 研究目的
- ▶ 実験概要・結果
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ RBS/ERDA実験(筑波大学)
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望



中性子反射率実験



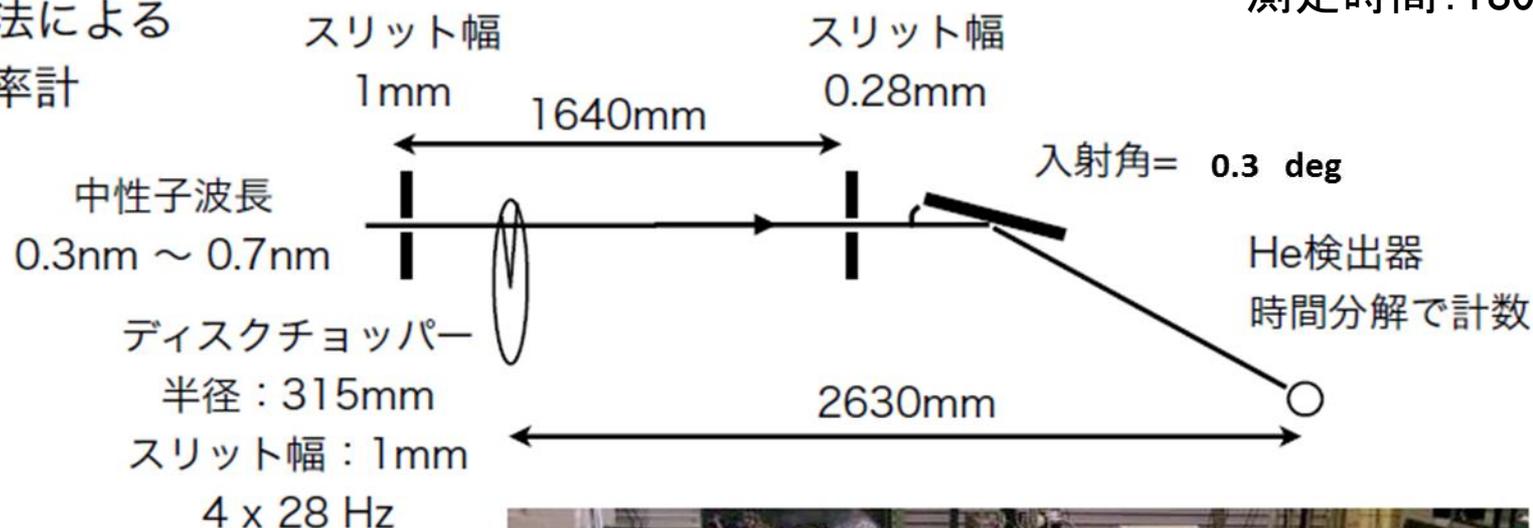
入射粒子のエネルギー E_0 としポテンシャルのエネルギーを V_0 とした場合を考える。(fig参照)その時波動方程式は

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi_x(x) + V_j(x) \psi_x(x) = E_x \psi_x(x)$$

中性子反射率実験

測定時間: 1800sec

TOF法による
反射率計



1周に4つスリットが切っており、
1回転で4回パーストする

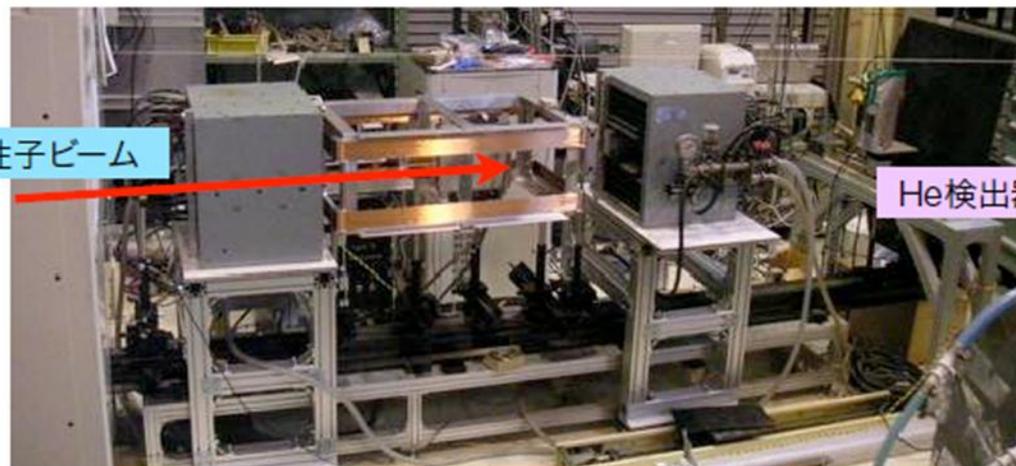
中性子ビーム

He検出器

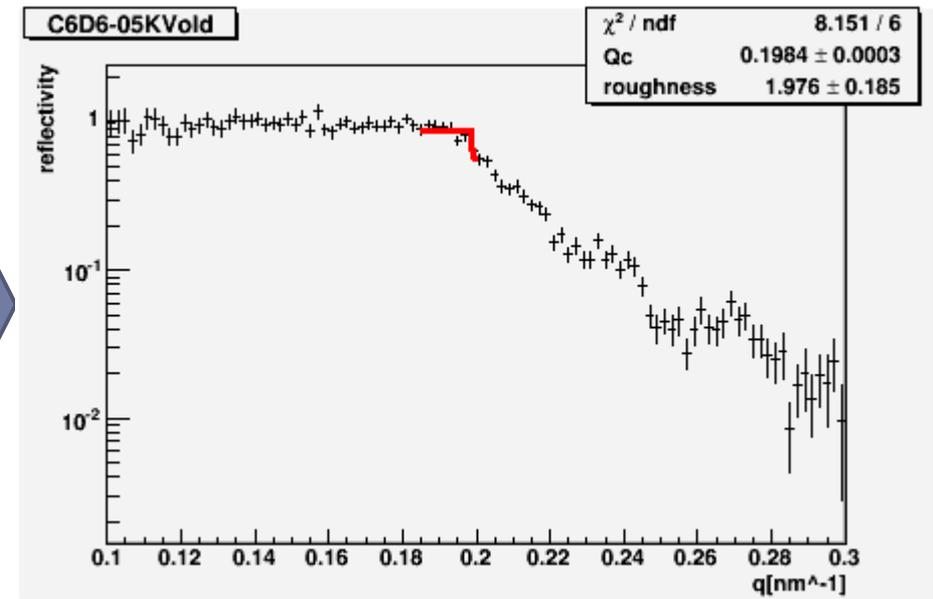
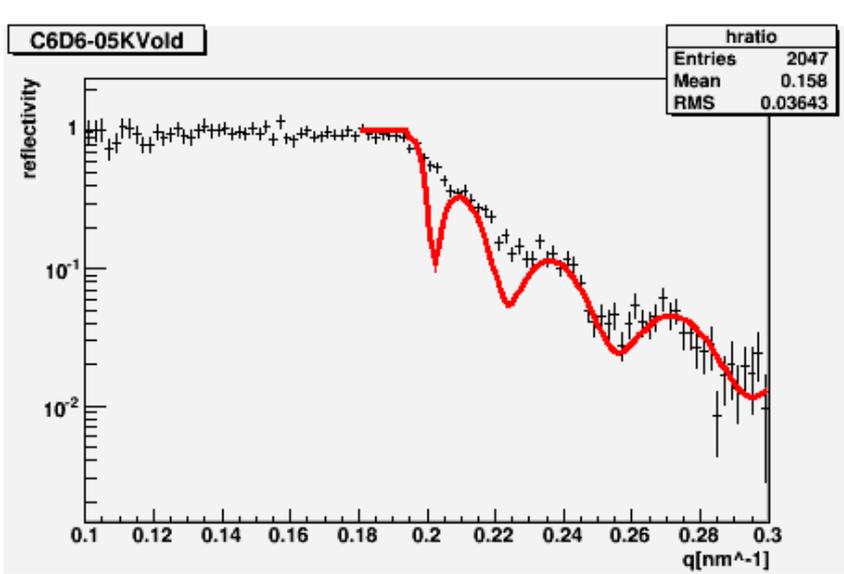
チョッパーが開いた時を0chとする。

スリットの幅から $\frac{\delta\theta}{\theta} \sim 14\%$

チョッパーの幅から $\frac{\delta t}{t}$



中性子反射率実験



Q値の誤差が大きすぎることや膜厚が全体で均一でないためフリンジのパターンを見ることができない

今回のフィッティングは反射率を見たいのでそこにだけ着目し計算を行った。その結果 χ^2 が大幅に改善された。

$$\chi^2 = 4.21 \rightarrow 1.36$$

$$R = \frac{4k_1^2 k_2 k_0}{k_1^2 (k_0 + k_2)^2 + (k_0^2 - k_1^2)(k_2^2 - k_1^2) \sin^2 k_1 d}$$



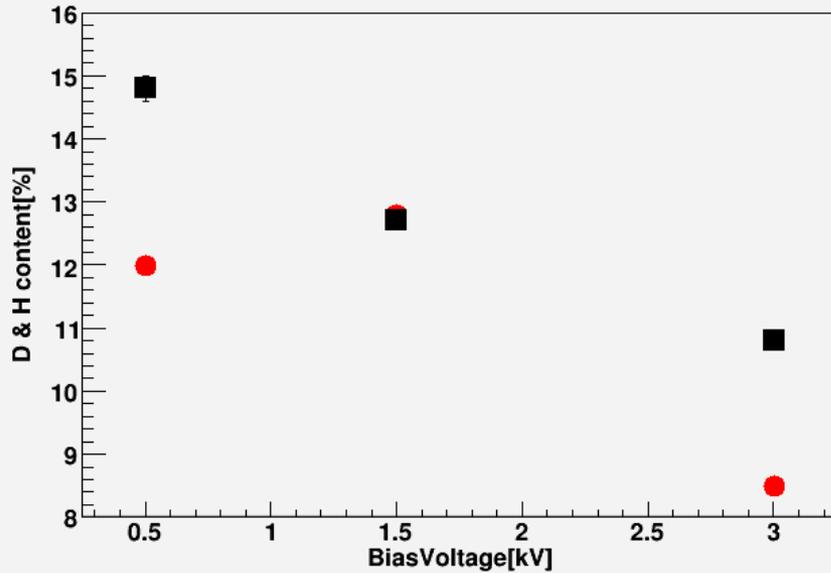
目次

- ▶ 研究目的
- ▶ 実験概要・結果
 - ▶ 成膜方法(高エネルギー加速器研究機構)
 - ▶ RBS/ERDA実験(筑波大学)
 - ▶ XRR実験(理化学研究所)
 - ▶ 中性子反射率測定(京都大学熊取原子炉実験所)
- ▶ 考察まとめ
- ▶ 今後の展望



まとめ

biasvoltage-D & H content



biasvoltage-C content

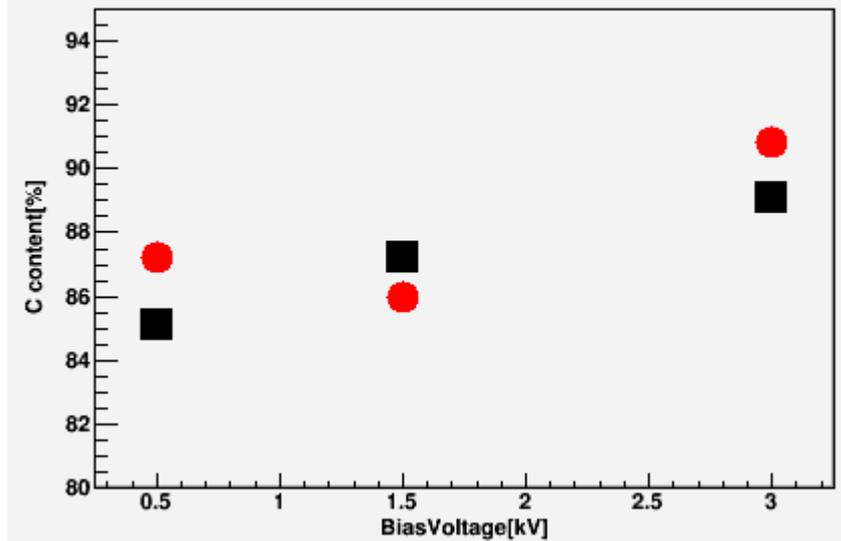


図1:基板電圧-重水素(軽水素)含有率

図2:基板電圧-炭素含有率

- :D(重水素)成膜
- :H(軽水素)成膜



まとめ

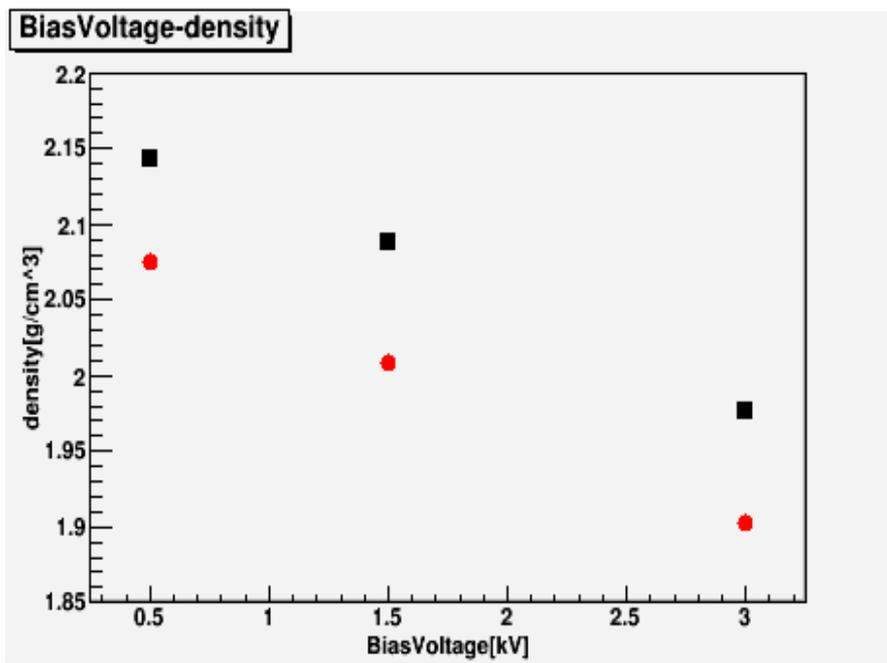


図1: 基板電圧—密度

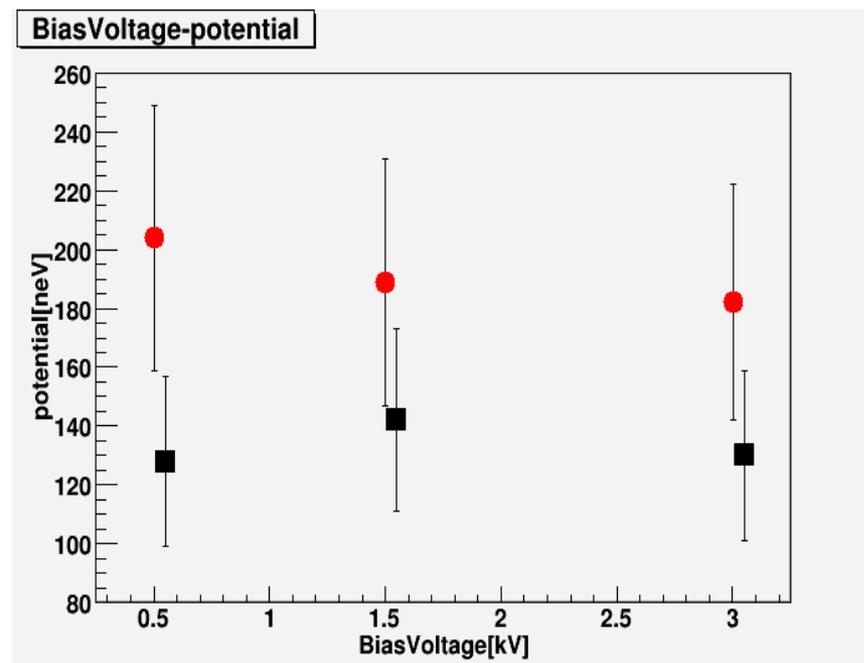


図2: 基板電圧—フェルミポテンシャル

- : D(重水素)成膜
- : H(軽水素)成膜



まとめ

	RBS			XRR	Fermi推定値	NR
	C[%]	D[%]	H[%]	密度 [g/cm ³]	[neV]	fermi実験値 [neV]
d05	87.2	12.0	0.8	2.08	204	202 ± 45
d15	86.0	12.8	1.2	2.01	199	189 ± 42
d30	90.8	8.5	0.7	1.90	179	182 ± 40
h05	85.1	0.1	14.8	2.14	167	128 ± 29
h15	87.2	0.1	12.7	2.09	166	142 ± 31
h30	89.1	0.1	10.8	1.98	160	130 ± 29



分かったこと

- ▶ 基板電圧を上げれば、密度は下がり、フェルミポテンシャルも下がる傾向がある。
- ▶ また電圧を上げれば、炭素含有率は上がり、水素(重水素)含有率は下がる傾向がある。

ただし重水素の場合1.5kVが違う振る舞いを見せた。
再現性の問題か細かく調べる必要がある。



今後

- ▶ 今回は誤差が非常に大きいため信頼を得られる結果が出なかった。今後J-Parcにて追実験(3月14日)を行い正確な情報を測定する。
 - ▶ 温度、流量とポテンシャルの関係性を調べる。
 - ▶ 電圧を細かく取ることで正確な相関関係を図る。
 - ▶ 再現性が疑われるため、今後追実験を行う。
-



まとめ追記

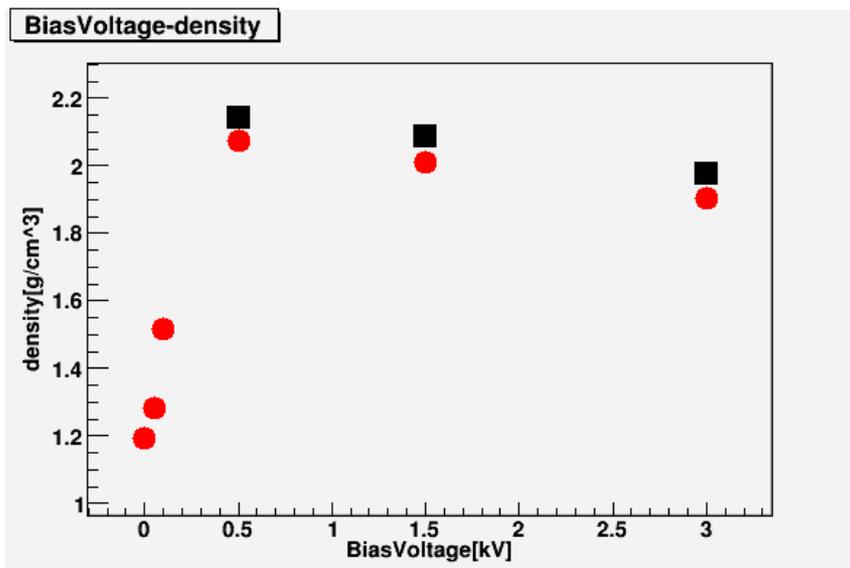


図1: 基板電圧—密度

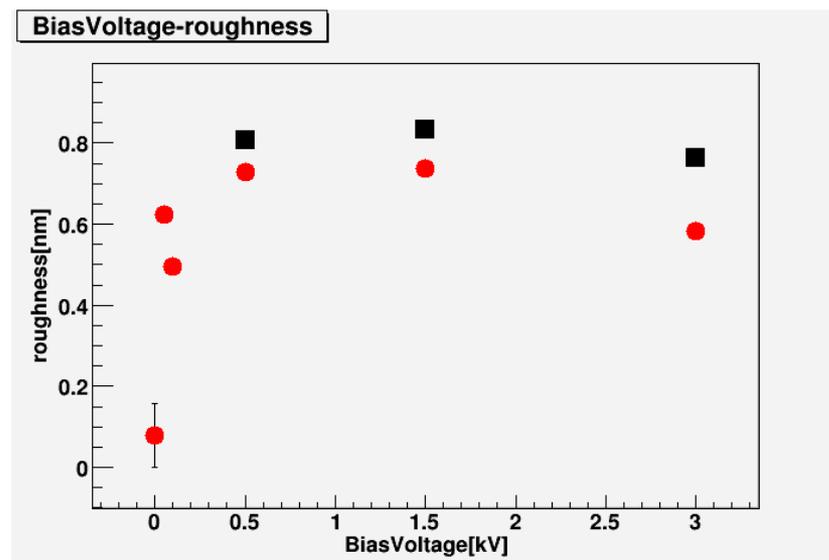


図2: 基板電圧—粗さ

● : D(重水素)成膜
■ : H(軽水素)成膜



ご清聴ありがとうございました

