

# 陽子及び水素入射による炭素薄膜からの前方と後方への二次電子放出の相関

奈良女大院人間文化、奈良女大理<sup>A</sup>、岡山理大院理<sup>B</sup>  
 島田亜衣子、井上洋子、小川英巳<sup>A</sup>、  
 石井邦和<sup>A</sup>、金子敏明<sup>B</sup>

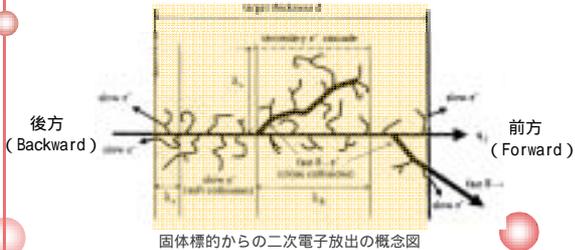
## 発表の流れ

- 背景
- 実験
- 結果と考察
- まとめと課題

## 背景

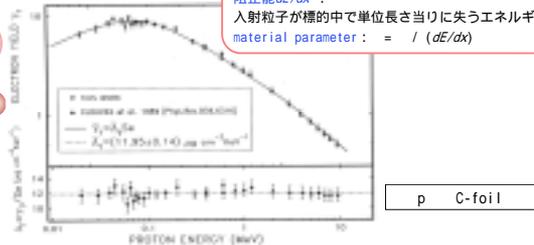
### 固体標的からの二次電子放出

電離・励起による内部二次電子の生成（低速電子と高速電子（線）の生成）  
 固体表面への移動（線による高次の電離を含む）  
 表面障壁に打ち勝ち固体外への脱出



## 背景

二次電子収量：  
 1 入射粒子当たり放出される平均二次電子数  
 阻止能  $dE/dx$ ：  
 入射粒子が標的の中で単位長さ当たり失うエネルギー  
 material parameter:  $\propto 1/(dE/dx)$



0.02 ~ 10MeVの領域にわたり、  
 二次電子収量は阻止能  $dE/dx$  に比例している

## 背景

他のパラメータを変化させた場合の二次電子収量の変化はどうか？

- 1) 2.5-3.5MeVの荷電凍結した  $H^+$  透過による炭素薄膜の前方(F)と後方(B)へ放出される二次電子の個数分布測定
    - (a) 個数分布、 $n_F, n_B$  の荷電状態による差
    - (b) 個数分布、 $n_F, n_B$  の透過粒子の出射角に対する依存性
- 二次電子放出の衝突径数依存性を調べる  
 衝突径数依存性においても、 $n_F$  と  $dE/dx$  に比例関係が成り立つか

- 2) 1)-(a)の条件で、前方と後方へのSE放出の相関を測定

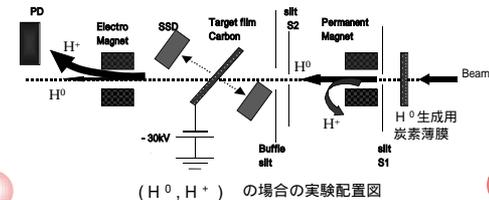
## 今回発表する内容

- ( $H^+, H^+$ )でのF/B相関の入射エネルギー-依存性 (0.5-3.5MeV)
- ( $H^0, H^+$ )でのF/B相関 ( $H^+$ 入射との比較)

## 実験

( $H^+, H^+$ )  
 $H^+$ ビームを(表面に垂直な)厚さ約1.9  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の炭素薄膜に入射  
 二次電子を半導体検出器(SSD)で検出  $\rightarrow$  リストモードで  
 $H^+$ をフォト・ダイオード(PD)で検出  $\rightarrow$  同時に検出

( $H^0, H^+$ )  
 $H^0$ ビームでも同様の実験を行った。  
 $H^0$ 生成用炭素薄膜、永久磁石をビームラインに設置する



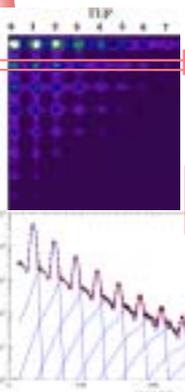
## 実験結果 及び 解析方法

●二次電子収量

$$\gamma_F(n_B = 1) = \sum_{n_F=0}^{\max} \frac{n_F I_{n_F}}{N_{n_B=1}}$$

$n_F$ : 同時に放出される二次電子の個数  
 $I_{n_F}$ :  $n_F$ 個の二次電子が同時に放出される事象の数  
 $N_{n_B}$ : 透過イオンの数

.....測定で得られたスペクトル  
 .....同時に放出される二次電子の個数ごとのエネルギースペクトル  
 .....同時に放出される二次電子の個数ごとのエネルギースペクトルの合計



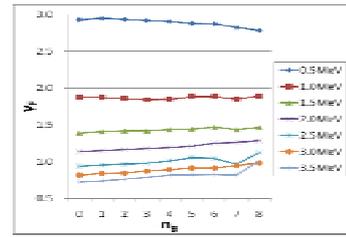
## 考察する内容

$F$ の $n_B$ -依存性

( $H^+$ ,  $H^+$ )

( $H^0$ ,  $H^+$ )と( $H^+$ ,  $H^+$ )の比較

解析結果 : ( $H^+$ ,  $H^+$ )の $n_B$ にゲートをかいた  $F$



$n_B = 0, 1, 2, 3, \dots$  ごとにゲートをかいた  $F$

- ◆ (1.0-3.5MeVでは)  $n_B$ の増加に伴い  $F$ も増加
- ◆ 入射粒子のエネルギーが低くなるほど  $F$ の増加率は小さくなる
- ◆ 0.5MeVでは傾きは負になる

考察 : ( $H^+$ ,  $H^+$ )の $n_B$ にゲートをかいた  $F$

低速内部二次電子 F/B相関に寄与しない  
高速内部二次電子(線) F/B相関に寄与する

$n_B$ の大きな事象では

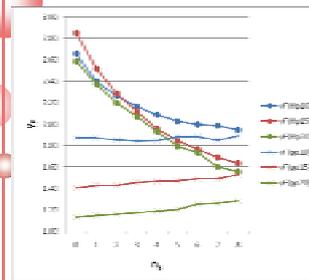
- ・ 入口付近で作られる線の数の期待値が増える
- ・ 後方散乱される線の数の期待値が増える

◆  $n_B$ の増加に伴い  $F$ も増加

入射エネルギーが低くなると線のエネルギーが  
低くなり飛程が短くなる

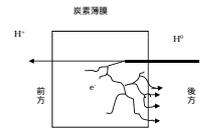
◆ 入射粒子のエネルギーが低くなるほど  $F$ の増加率は小さくなる

解析結果 : 1.0-2.0MeVの( $H^0$ ,  $H^+$ )と( $H^+$ ,  $H^+$ )の比較



$n_B = 0, 1, 2, 3, \dots$  ごとにゲートをかいた  $F$

$n_B$ が大きくなると損失電子による  $F$ への寄与は小さくなる  
 $F$ は主に陽子のみが寄与



## まとめ

( $H^+$ ,  $H^+$ )

- ◆ (1.0-3.5MeVでは)  $n_B$ の増加に伴い  $F$ も増加
- ◆ 入射粒子のエネルギーが低くなるほど  $F$ の増加率は小さくなる

( $H^0$ ,  $H^+$ )

- 損失電子の寄与が( $H^+$ ,  $H^+$ )との違いを生む
- ◆ 1.0-2.0MeVで( $H^0$ ,  $H^+$ )の  $F$ は  $n_B$ が大きくなると、( $H^+$ ,  $H^+$ )の  $F$ に近づく
- ◆  $n_B$ の  $n_F$ に対する場合も同様の傾向がみられる

## 今後の課題

前方と後方の二次電子放出の個数分布について理論的モデル、シミュレーションなどの定量的な考察を行なう