

技術報告： 実際の照射条件における E, Range, LET スペクトル

理研・産業チーム

先日ご利用下さいました 84Kr 70MeV/u E5Aコース の照射について、
技術報告をさせていただきます。

(目次)

Pg.2： 照射セットアップ

Pg.3： ビームスポットの強度分布測定

Pg.4： ビームフラックス較正

Pg.5： ビーム Range 測定

Pg.6： ExpR予想値 と 実測値の比較

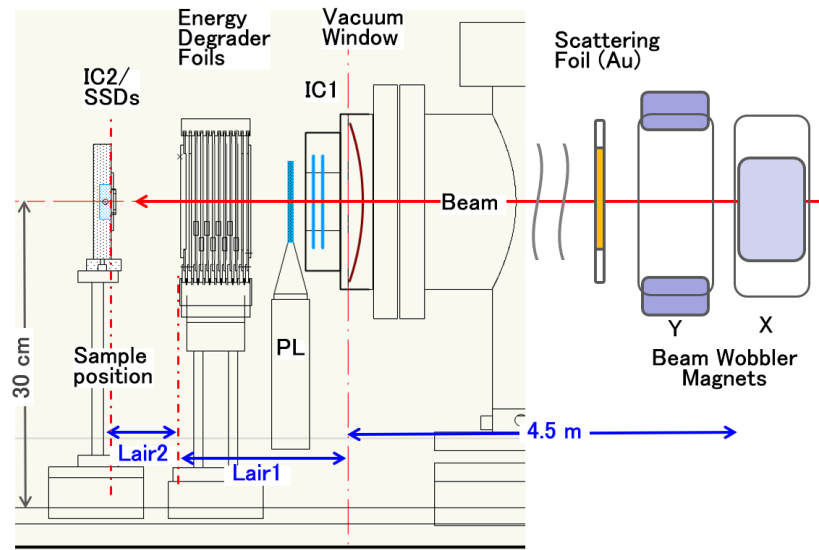
Pg.7： エネルギー検出器の較正

Pg. 8～13： 照射ビームの E, Range, LET スペクトル (N06)用

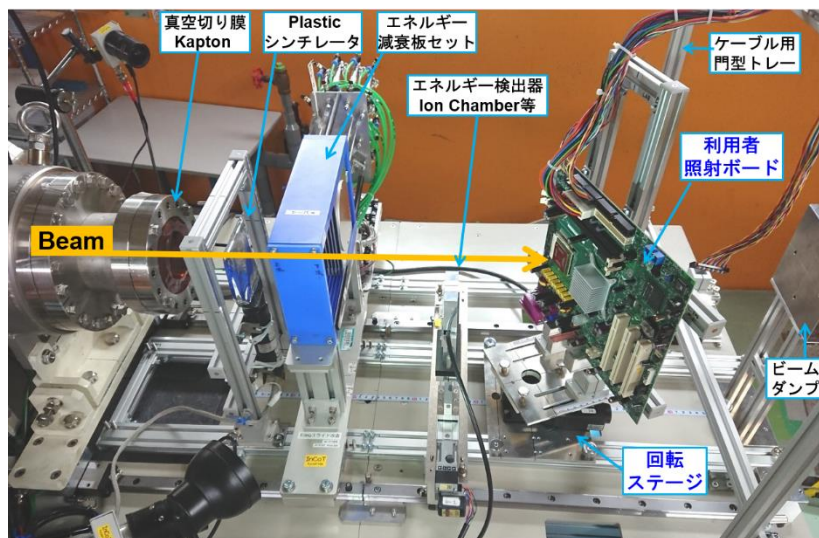
Pg.14～20： 照射ビームの E, Range, LET スペクトル (S03)用

※ これは、Kr 70MeV/u 照射に関する報告書(例)です。
利用終了後に、利用者へ提出させて頂いております。
報告書の準備には少々時間がかかります。
利用後2～3週間以内にお送りします。

以下、よろしくご査収ください。



※ ビームが通過した物質とその厚さを報告します。
この値を用いて、以降の SRIMfit 計算を行っています。



● Beam 通過物の厚さ

| Beam Mon系 | 採用 μm |
|-----------|------------------|
| Au | 45.8 |
| Kapton | 78.0 |
| IC1.Al | 14.0 |
| IC1.mylar | 25.6 |
| PL.mylar | 33.8 |
| PL.myAl | 30.0 |
| PL.EJ212 | 100.0 |
| | mm |
| Air1 | 145.0 |
| Air2 | 200.0 |

Au : 散乱膜
Kapton : 真空切り膜
IC1 : Ion Chamber (空気)
PL : Plastic シンチレータ

Energy Degradator (EDeg) の厚さ 材質: アルミ

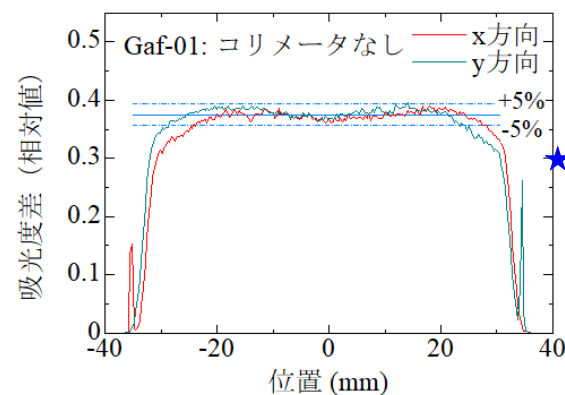
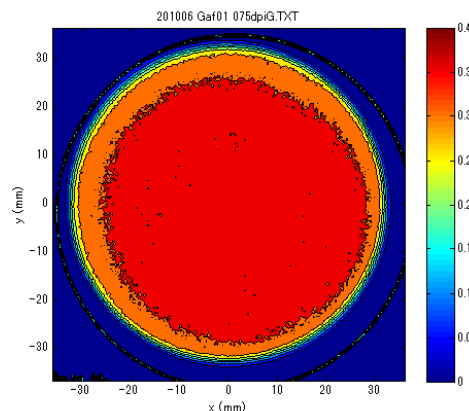
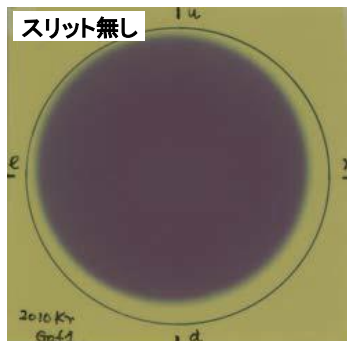
| Edeg Deg# | 採用 μm |
|-----------|------------------|
| 1 | 10.20 |
| 2 | 12.80 |
| 3 | 23.80 |
| 4 | 48.59 |
| 5 | 100.24 |
| 6 | 100.80 |
| 7 | 196.39 |
| 8 | 485.95 |
| 9 | 5000 |
| A | 5.48 |
| B | 975.39 |
| C | 2000 |

● サンプル照射位置に設置した「Gafフィルム」に照射して、ビーム強度分布を測定しました。

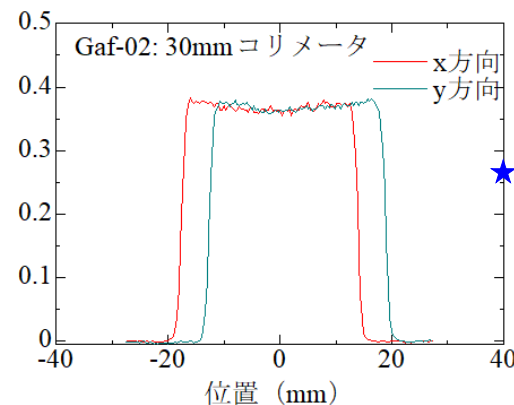
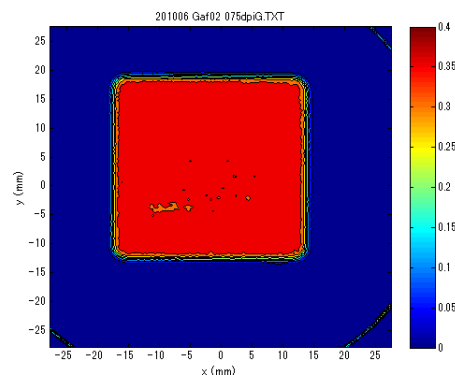
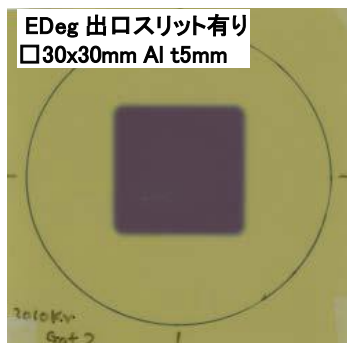
- ・ Run# Gaf-01 : 電離箱(IC1)無し、PLシンチレータ無し、Edeg = 0um で照射。
- ・ Run# Gaf-02 : 同上で、Edeg出口スリット □30x30mm ありで照射。 ← サンプル照射中の設定。

照射後のフィルム
Scanner 画像

吸光度分布



★ スリット無しの場合、
強度分布は、
直径 ϕ 50mm 以内で $\pm 5\%$ 以内
でした。



★ スリット有りの場合、
サンプル照射中の設定では、
強度分布の一様性は、
□30x30mm 以内で $\pm 3\%$ 以内
でした。

使用したフィルム: Gafchromatic Film EBT3

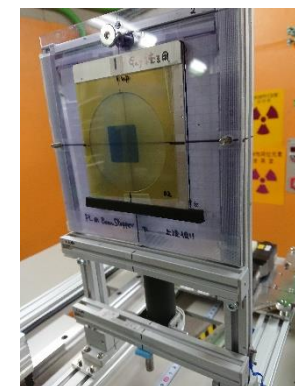
http://r-tech-japan-web.jp/image/GAF_ALL.pdf

(Gafフィルムの参考文献)

上松、花屋、小嶋 (JAEA 高崎研)

「GAFフィルム線量計とイメージスキャナを組み合わせた、簡便なイオンビームの
2次元線量相対分布計測システム」 RADIOISOTOPES, 57 87-98 (2008)

※ これは、Gafフィルムで測定したビーム強度分布です。
必要でしたら、画像ファイルも提出いたします。



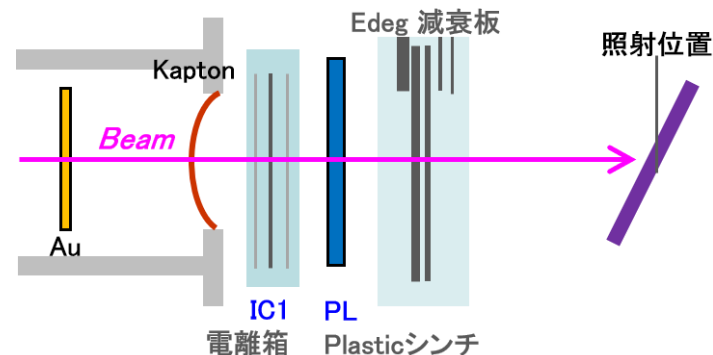
● ビームラインに常設の「ビームフラックス検出器」の校正を行いました。

ビームフラックスの強度に応じて、2種類の検出器が常設してあります。

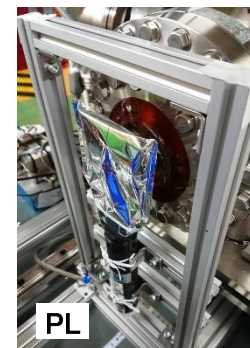
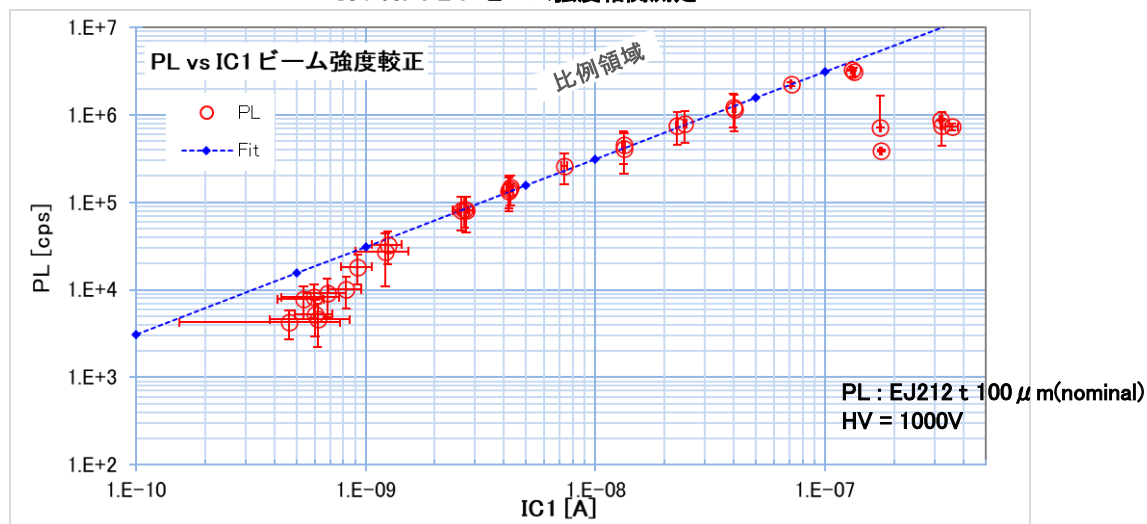
IC1: 電離箱(空気) 開口φ 50 mm : 高フラックス用

PL: Plastic シンチレータ □ 64x64 mm : 低フラックス用

加速器からのビーム量をビームアッテネータで変化させながら、
これら2種類の検出器の測定値の相関を測定し、広いダイナミックレンジでフラックスを
求めることができます。



IC1 vs. PL : ビーム強度相関測定



★ 2つの検出器の測定値が 比例する領域 について 直線近似 を用いて、次の「フラックス換算式」を求めました。

PL vs IC1 比例領域で Fit 結果

$$PL [cps] = 3.119E+13 * IC1 [A]$$

$$IC1 [A] = 3.201E-14 * PL [cps]$$

ゼロ点を通る事を仮定しています。

| | |
|------------|--------------------------|
| Beam照射 円面積 | IC1 穴で決まる |
| 半径 2.5cm | 19.63 [cm ²] |

換算式

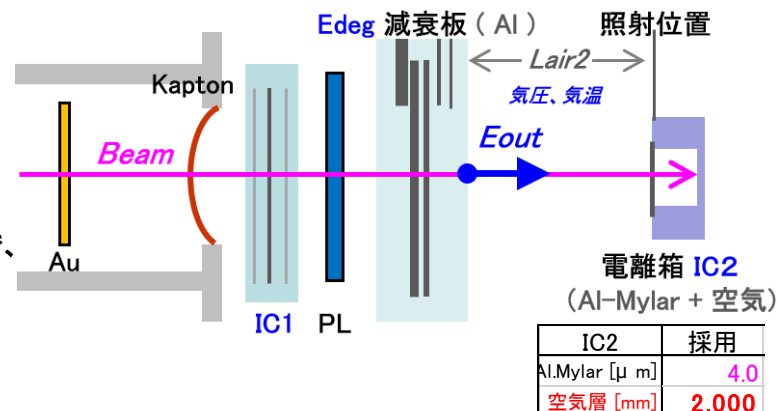
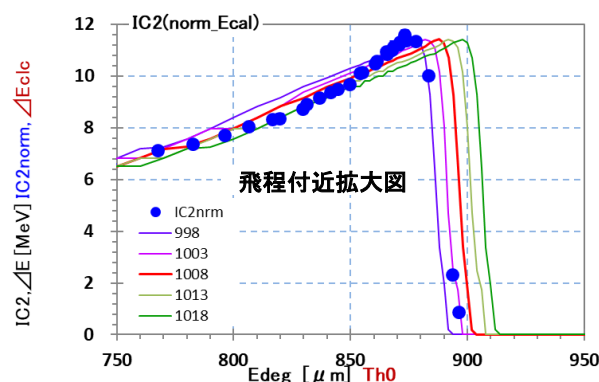
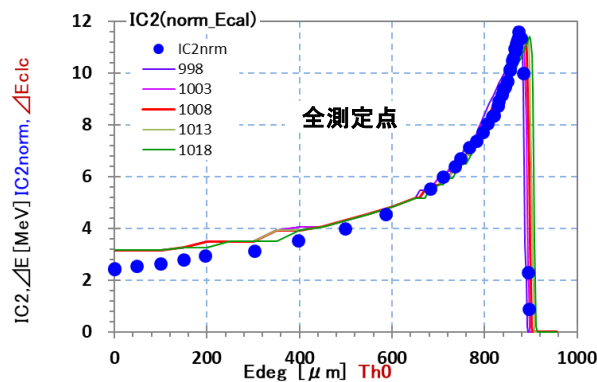
| | |
|------------------------|-------------------|
| [個/cm ² /秒] | |
| = PL[cps] / | 19.63 |
| = IC1[A] * | 3.119E+13 / 19.63 |
| = IC1[A] * | 1.588E+12 |

※ このフラックス校正:換算式 は、
ビーム調整終了後、すぐ解析して、
利用開始前までにお渡ししています。

利用中に当チームのnotePCに表示されていた、
フラックスモニターの値は、この換算式を用いて計算した値です。

- サンプル照射位置に設置した「電離箱 IC 2」検出器を用いて、照射位置におけるビームの飛程値 (Range) を測定しました。

Edeg 板の厚さを変化させながら、IC 2 検出器の電流値を測定する事で、空気中に取り出したビームの照射位置における「Range 曲線」が得られます。取得した Range 曲線を、SRIM コード^(*) による IC2 検出器中の $\angle E$ 計算値と比較することで、
 $\text{ExpR} [\mu\text{m}]$: Eout = 0 となる Edeg の厚さ(AI 相当Range) を求めました。

Range 曲線 : IC 2 測定点 vs. SRIMによる $\angle E$ 計算値 の比較

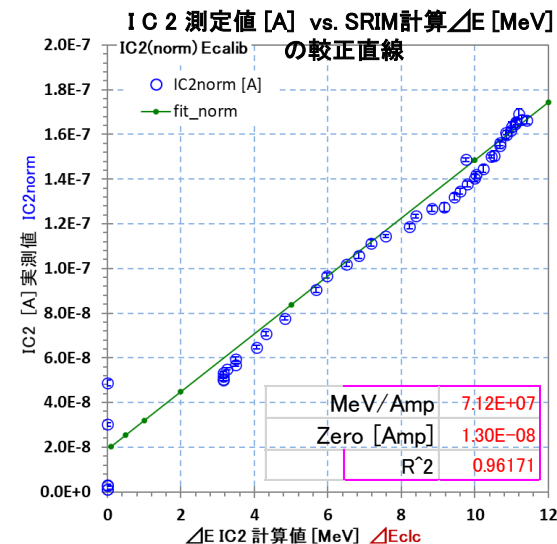
- ★ 上比較図 の fitting の結果より、 $\text{ExpR} = 1008.0 [\mu\text{m}]$ を採用しました。

この ExpR が決まると、今後は Edeg出口でのビームエネルギーは次式で簡単に計算可能となります。

$$\text{Eout (Edeg厚 } [\mu\text{m}]) [\text{MeV}] = \text{Range}^{-1} (\text{ExpR } [\mu\text{m}] - \text{Edeg厚 } [\mu\text{m}])$$

- ★ 尚、Edeg = 0 [μm] の時の、最大ビームエネルギーは、※ この ExpR 値 は、ビーム調整終了後にすぐ解析して、利用開始前までにお渡ししています。

(*) SRIMコード: Stopping & Range In Matter, <http://www.srim.org/>
 報告書中のエネルギー損失($\angle E$)、LET値 の計算には、全て SRIM-2013 コードを用いています。



※ 左表(予想版) は、
準備段階でお渡ししています。
最低LET値がいくつになるかを
確認しておいて下さい。

- 利用前のビーム調整時に予想していた ExpR値 に対して、
前項で実測した値がどれくらい異なるかを比較しておきます。(今後のビーム調整の精度向上のために)

| ExpR推定 | | 予想版 | | | |
|-----------------------|---------|-------------------|--------------------|-----------------|---------|
| ビームライン常設物 ref) params | | 厚さ | ① | WSnam | |
| Au | 45.8 | 45.8 μ m | | srin84Kr_Au | |
| Kapton | 78.0 | 78.0 μ m | | srin84Kr_Kapton | |
| IC1.Al | 14.0 | 14.0 μ m | | srin84Kr_Mylar | |
| IC1.mylar | 25.6 | 25.6 μ m | | srin84Kr_EJ212 | |
| PL.EJ212 | 100.0 | 100.0 μ m | | srin84Kr_Al | |
| PL.mylar | 33.8 | 33.8 μ m | | srin84Kr_Si | |
| PL.Al(mylar) | 30.0 | 30.0 μ m | | srin84Kr_Air | |
| Air1 | 145.0 | 145.0 mm | | | |
| Air2 | 200.0 | 200.0 mm | | srin84Kr_EJ212 | |
| AirT 気温 | | 26.9 $^{\circ}$ C | 実測値 | srin84Kr_Mylar | |
| AirP 気圧 | | 1013.1 hPa | 実測値 | srin84Kr_Kapton | |
| ThkStd | | 0.9769 | | srin84Kr_Si | |
| Beam | | 84Kr | A=84 Z=36 | | |
| Ebm公称 | | 70.00 | ExpR:実測 1008 <-実測値 | | |
| ② δ Ebm補正 [%] | 0.000 % | Δ ExpR | -11.2 ④ | | |
| | | E | LET | RinSi | R Al |
| EDeg出口まで | | MeV/u | in Si | μ m | μ m |
| in Vacc | 70.00 | 9.47 | 1645 | 1452 | 2914 |
| aft Au | 63.730 | 10.11 | 1408 | 1247 | 2499 |
| aft Kap | 62.129 | 10.30 | 1352 | 1199 | 2397 |
| aft IC1-Al | 61.666 | 10.35 | 1336 | 1185 | 2368 |
| aft IC1-Mylar | 61.158 | 10.41 | 1318 | 1169 | 2336 |
| aft PL-EJ212 | 59.592 | 10.59 | 1262 | 1122 | 2236 |
| aft PL-Mylar | 58.878 | 10.68 | 1239 | 1101 | 2194 |
| aft PL-Al(Mylar) | 57.872 | 10.82 | 1207 | 1071 | 2135 |
| aft Air1 | 55.393 | 11.15 | 1128 | 996.8 ③ | 1990 |
| 照射物位置で | | | | | |
| aft Air2 | 51.817 | 11.68 | 1016 | 895 | 1790 |

| ExpR推定 | | 実測版 | | | |
|-----------------------|---------|-------------------|--------------------|-----------------|---------|
| ビームライン常設物 ref) params | | 厚さ | | WSnam | |
| Au | 45.8 | 45.8 μ m | | srin84Kr_Au | |
| Kapton | 78.0 | 78.0 μ m | | srin84Kr_Kapton | |
| IC1.Al | 14.0 | 14.0 μ m | | srin84Kr_Mylar | |
| IC1.mylar | 25.6 | 25.6 μ m | | srin84Kr_EJ212 | |
| PL.EJ212 | 100.0 | 100.0 μ m | | srin84Kr_Al | |
| PL.mylar | 33.8 | 33.8 μ m | | srin84Kr_Si | |
| PL.Al(mylar) | 30.0 | 30.0 μ m | | srin84Kr_Air | |
| Air1 | 145.0 | 145.0 mm | | | |
| Air2 | 200.0 | 200.0 mm | | srin84Kr_EJ212 | |
| AirT 気温 | | 26.9 $^{\circ}$ C | 実測値 | srin84Kr_Mylar | |
| AirP 気圧 | | 1013.1 hPa | 実測値 | srin84Kr_Kapton | |
| ThkStd | | 0.9769 | | srin84Kr_Si | |
| Beam | | 84Kr | A=84 Z=36 | | |
| Ebm公称 | | 70.00 | ExpR:実測 1008 <-実測値 | | |
| ⑤ δ Ebm補正 [%] | 0.480 % | Δ ExpR | 0.1 | | |
| | | E | LET | RinSi | R Al |
| EDeg出口まで | | MeV/u | in Si | μ m | μ m |
| in Vacc | 70.34 | 9.44 | 1658 | 1463 | 2936 |
| aft Au | 64.086 | 10.07 | 1421 | 1258 | 2522 |
| aft Kap | 62.485 | 10.26 | 1364 | 1210 | 2420 |
| aft IC1-Al | 62.022 | 10.31 | 1348 | 1196 | 2391 |
| aft IC1-Mylar | 61.514 | 10.37 | 1330 | 1180 | 2358 |
| aft PL-EJ212 | 59.948 | 10.55 | 1275 | 1133 | 2259 |
| aft PL-Mylar | 59.259 | 10.63 | 1252 | 1112 | 2216 |
| aft PL-Al(Mylar) | 58.254 | 10.77 | 1219 | 1082 | 2157 |
| aft Air1 | 55.774 | 11.10 | 1140 | 1008.1 | 2012 |
| 照射物位置で | | | | | |
| aft Air2 | 52.236 | 11.61 | 1029 | 906 | 1812 |

- ① 加速器からのビームが通過する物質の厚さです。
値は、秤量値 or 公称値 ですので、
ココにエラーがある可能性も十分あります。

- ② 加速器からのビームエネルギーが
公称値 \pm 0% の場合、

- ③ が、ExpR の予想値でした。

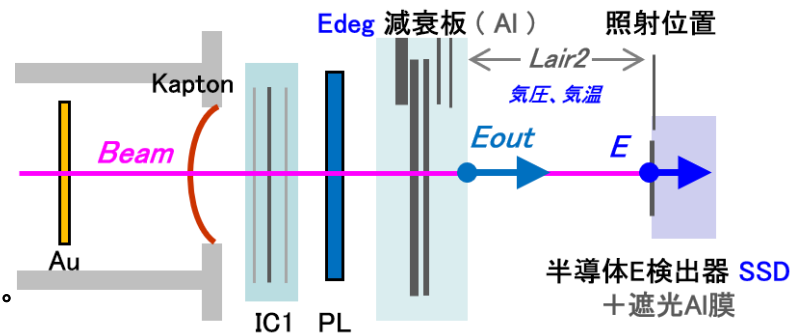
- ④ が、ExpR の予想値 と 実測値の「差」です。 → Al 相当厚さで 11.2 μ m 厚かったです。

- ⑤ は、このズレを、加速器からの真空中の
ビームエネルギーの違いと思った場合。 → エネルギー相当で 0.480 % 高かったです。

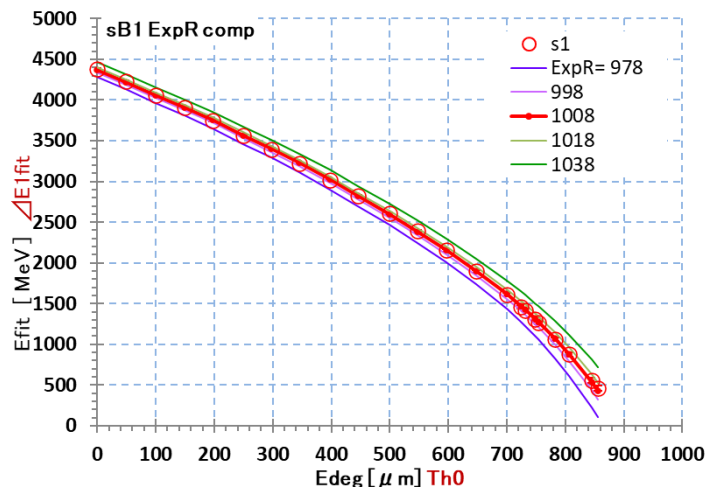
★ 加速器のエネルギーは、通常は公称値 \pm 0.1% 程度ですので、
今回のズレは、①の値 若しくは SRIM計算自体 にも原因がありそうです。
いずれにせよ、「実測値」を用いて以降の解析を行っています。

- 照射位置に設置した「半導体エネルギー検出器 SSD」の、エネルギー較正を空気中で行いました。

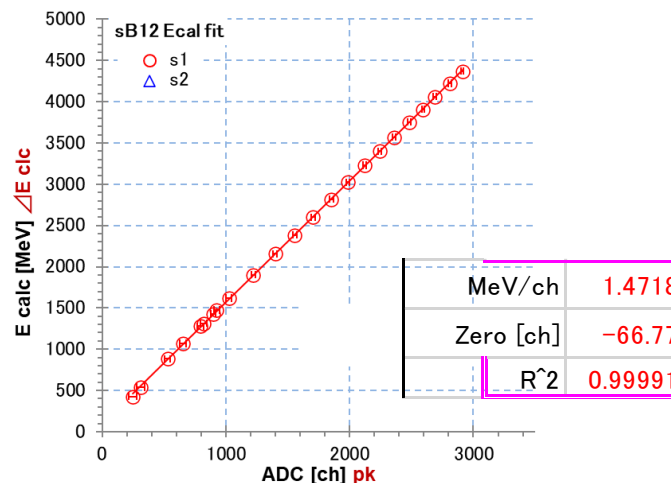
Edeg 板の厚さを変化させて、SSD 検出器でエネルギースペクトルを測定しました。前項で求めた ExpR 値で、Edeg出口位置でのビームエネルギー Eout (Edeg厚) が簡単に求まります。更にその下流にあるビーム通過物質(空気 Lair2, SSD遮光膜) 中でのエネルギー損失を計算し、SSD検出器に入射されるビームエネルギー E_{ssd} (Edeg厚) が求まります。この値と実測値を比較してエネルギー較正を行いました。



SSD検出器のエネルギー較正曲線
SSD 測定点 vs. SRIMによる E (Edeg厚) 計算値 の比較



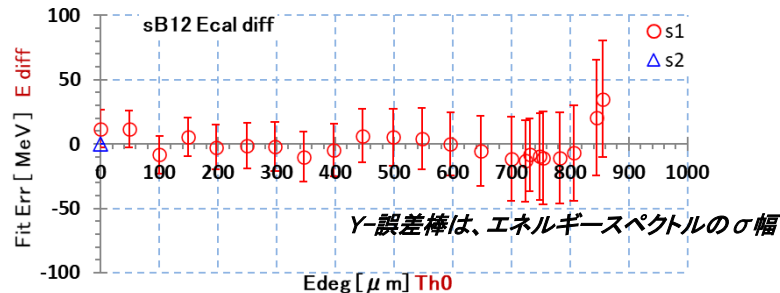
SSD検出器のエネルギー較正直線
SSD 測定値 ADC [ch] vs. E (Edeg厚) 計算値 の比較



| | 採用 |
|--------|------|
| ssdB12 | μ m |
| 遮光Al | 4.72 |
| dead11 | 0 |
| 空乏層 | 2050 |

この SSD検出器 (sB1) は、厚さ約 2000 μm で、ビームはこの検出器の中で完全に停止する厚さです。

上図, E計算値曲線からの残差



★ 上図 の 直線 fitting の結果より、「SSD検出器の E較正式」

$$E [\text{MeV}] = 1.4718 * (\text{ADC} [\text{ch}] + 66.77)$$

を求めました。この較正式を後述のエネルギー、LET、Range スペクトル 求める際に適用しました。

※ このエネルギー較正 には、解析に時間がかかるので、利用終了後にご報告しています。

※ pg.5 で求めた ExpR 値 を用いて、
この表を計算して、
利用開始前までにお渡ししています。

● 利用開始時に配布した Edeg厚さ設定値の一覧表です。

ビーム調整・結果報告

| 《本シートの参照パラメータ》 | | Al-Edeg の組合せ候補 | | | | | | | | | | チップ表面 設定希望値 | | | | 感応深さ 290.0 [μm] 位置での値 | | | |
|----------------|-------------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------|--------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|
| WS_head | BeamA | Al-Edeg 組合せ (Ptn文字) | | | | | | | | | | ED | ExR-ED | EAir1 | EAir2 | エネルギー | LET | 残Rng | 照射 |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | μm | μm | MeV/u | in Si | in Si | 角度 |
| Mat | SRIM Fit W.S.name | | | | | | | | | | | | | | | | | | 深さ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | エネルギー |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MeV/u |
| IC測定で求めた | ExpR | | | | | | | | | | | | | | | | | | MeV |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | LET |
| 空気層 | Air1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| | Air2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| 気温 | 気圧 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| Edeg | AL厚さ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| Deg# | μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| 1 | 10.20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| 2 | 12.80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| 3 | 23.80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| 4 | 48.59 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| 5 | 100.24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| 6 | 100.80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| 7 | 196.39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| 8 | 485.95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| 9 | 5000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| A | 5.48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |
| B | 975.39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 残Rng |
| C | 2000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | in Si |

実測点No

《1》Edeg = 0 μm

※ 利用終了時に、
この表で実際に照射した
Edeg の組合せを
伺います。MT終了までに
時間の余裕があれば、
以降のようにスペクトルを
実測して報告します。

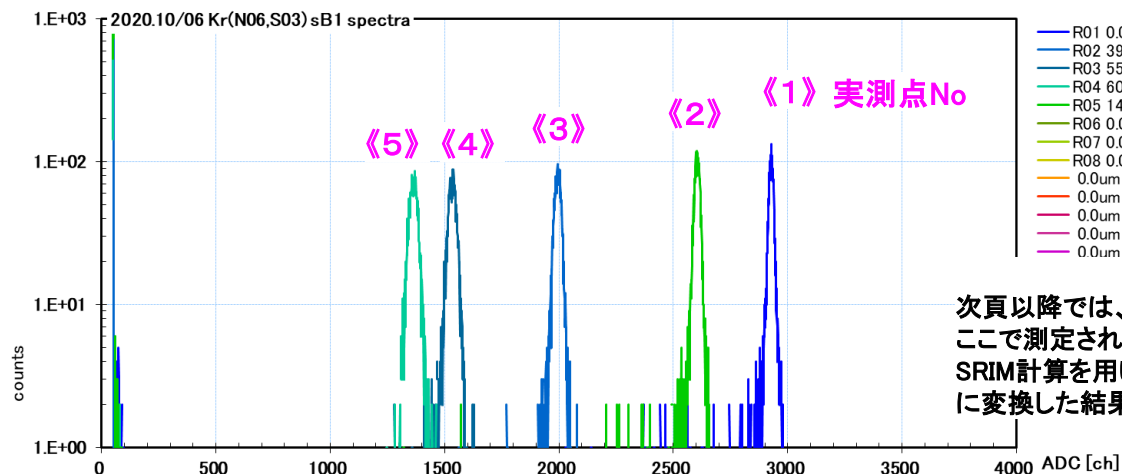
《4》

《1》~《5》について
実測しました

《5》

《2》

● SSD検出器で測定した エネルギースペクトル

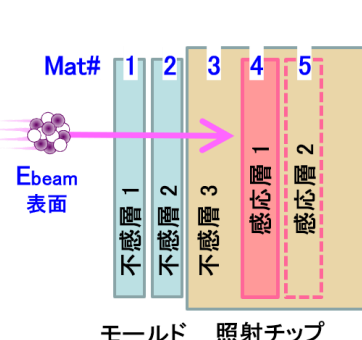


次頁以降では、
ここで測定されたエネルギースペクトルを元に、
SRIM計算を用いて、LETスペクトル、Rangeスペクトル
に変換した結果を示します。

※ 利用終了時に実測した
実際の試料照射位置における、
ビームのエネルギースペクトルです。
pg.8 で指定して頂いた Edeg 組合せ
について、測定させていただきます。
pg.7 で求めた SSD検出器の較正式
を用いて、エネルギー値に変換し、
その後、頁下の説明にあるように、
SRIMfit 計算シートを用いて、
E → LET, Range 「スペクトル変換」
を行っています。

● スペクトルの SRIM計算に用いた「物質厚さ」について

| | Mat | SRIM Fit W.S.name | | 厚さ[μm] | 角度 | eff.Thick |
|---|-------|-------------------|---------|--------|-----|-----------|
| 1 | Epoxy | srilm84Kr_Epoxy | 不感層1=無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | SiO2 | srilm84Kr_SiO2 | 不感層2=無し | 0.0 | | 0.0 |
| 3 | Si | srilm84Kr_Si | 不感層3 | 290.00 | | 290.0 |
| 4 | Si | srilm84Kr_Si | 感応層1 | 20.0 | | 20.0 |
| 5 | Si | srilm84Kr_Si | 感応層2=無し | 0.0 | | 0.0 |



「5層構造」を仮定して計算しています。
「モールド材」として、
不感層 1, 2 を考え、
2種類の材質まで考慮。
「照射チップ」として、
不感層 3 と 感応層 1, 2 を考え、
多層構造チップの計算 も可能です。

※ $\angle E$ 計算に考慮しない層は、厚さ = 0 μm で指定します。
※ 照射角度による斜め入射の effective thickness を考慮しています。

Excel (SRIMfit) シートでの計算(例)

| Excel (SRIMfit) シートでの計算 (例) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|----------|----------|------------|--------|-------|--------|----------|--------|-------|--------|--------------|--------|-------|-------|
| gnuplot#1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| 生データ | | 試料表面で | | | | 不感層1 | 不感層2 | 不感層3 | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | |
| sum= 8028 | | | | | | 通過後 | 通過後 | 通過後 | = aft_Mat3 | | | | | | | | | | | |
| ADC | 生Data | E表面 | | LET表面 | Rng表面 | aft_Mat1 | aft_Mat2 | aft_Mat3 | E感応層1 | | LET感応 | Rng感応 | E感応層2 | | LET感応 | Rng感応 | E感応層2出 | LET感応 | Rng感応 | |
| ch | counts | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV/u | MeV/u | MeV/u | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m |
| 2927 | 82 | 4406.2 | 52.454 | 11.57 | 1035.5 | 52.454 | 52.454 | 52.090 | 4375.6 | 52.090 | 11.63 | 1024.2 | 4321.2 | 51.443 | 11.74 | 1004.2 | 4266.8 | 50.796 | 11.84 | 984.2 |
| 2928 | 133 | 4407.6 | 52.472 | 11.57 | 1036.0 | 52.472 | 52.472 | 52.108 | 4377.0 | 52.108 | 11.63 | 1024.8 | 4322.7 | 51.460 | 11.74 | 1004.8 | 4268.3 | 50.813 | 11.84 | 984.8 |
| 2929 | 94 | 4409.1 | 52.489 | 11.57 | 1036.6 | 52.489 | 52.489 | 52.125 | 4378.5 | 52.125 | 11.63 | 1025.3 | 4324.1 | 51.478 | 11.73 | 1005.3 | 4269.8 | 50.831 | 11.84 | 985.3 |

ADC[ch] → E[MeV] に変換

不感層1～3 通過後の E 計算 →

感応層1表面(1の入口) →

感応層2表面(1の出口) →

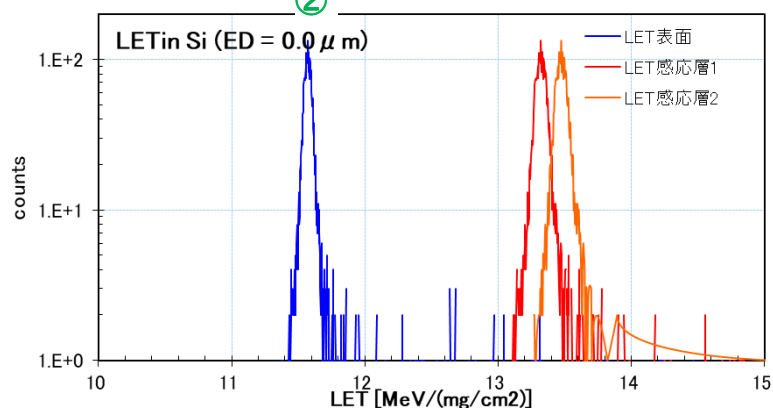
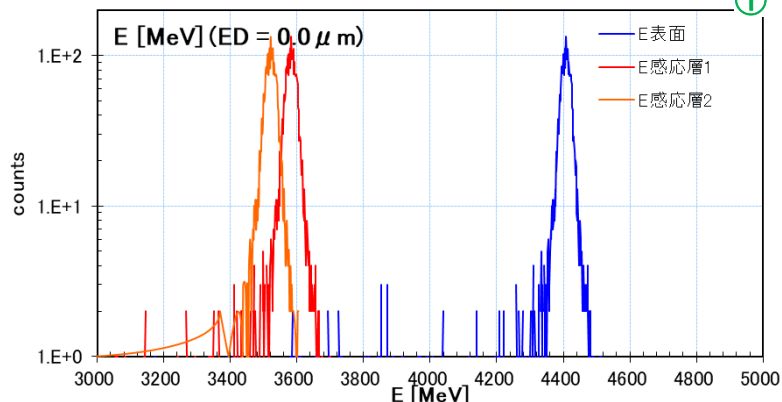
感応層3表面(2の出口)

| | | |
|----------|---------------------|--------------------|
| RunName= | scnEDssd03-0001.dmp | R01_00度 LETmin |
| EDeg = | 0.0 μm | EDptn 000000000000 |

| | Mat | SRIM Fit W.S.name | | 厚さ[μm] | 角度 | eff.Thick |
|---|-------|-------------------|---------|---------------------|-----|-----------|
| 1 | Epoxy | srin84Kr_Epoxy | 不感層1=無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | SiO2 | srin84Kr_SiO2 | 不感層2=無し | 0.0 | | 0.0 |
| 3 | Si | srin84Kr_Si | 不感層3 | 290.00 | | 290.0 |
| 4 | Si | srin84Kr_Si | 感応層1 | 20.0 | | 20.0 |
| 5 | Si | srin84Kr_Si | 感応層2=無し | 0.0 | | 0.0 |

| | 生データ | 試料表面で | | | | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | | |
|------|-----------|---------|-----------|--------|-------|-------------|--------|--------|-------------|----------|--------|--------------|-------|--------------|--------|--------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | fit_生Data | fit_E表面 | fit_LET表面 | Rng表面 | E感応層1 | fit_LET感応層1 | g感応層1 | E感応層2 | fit_LET感応層2 | g感応層2 | 感応層2出 | fit_LET感応層2出 | 感応層2出 | | | | | |
| | counts | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | |
| X0 = | | 2928.2 | 4407.9 | 52.475 | 11.57 | 1036.1 | 3582.5 | 42.649 | 13.32 | 746.1 | 3521.1 | 41.918 | 13.47 | 726.1 | 3457.9 | 41.165 | 13.64 | 706.1 |
| sg = | | 10.5 | 15.4 | 0.184 | 0.03 | 5.7 | 17.4 | 0.207 | 0.04 | 5.7 | 17.5 | 0.208 | 0.04 | 5.7 | 18.3 | 0.217 | 0.05 | 5.7 |
| a = | | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.3 | 103.3 | 102.9 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 | 103.5 |

下記スペクトルの
Gaussian Fit
の結果値です。



① 不感層1～3を通過後、「感応層1の入口位置」でのLET値です。

② 感応層1を通過後、「感応層1の出口位置」でのLET値です。

★ 今回のビームの 感応層1入口位置での
最小 LET値 = 13.32 \pm (σ 幅 0.04) でした。

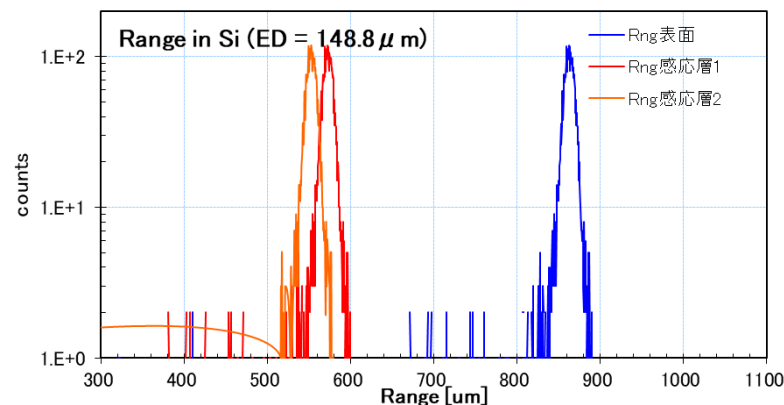
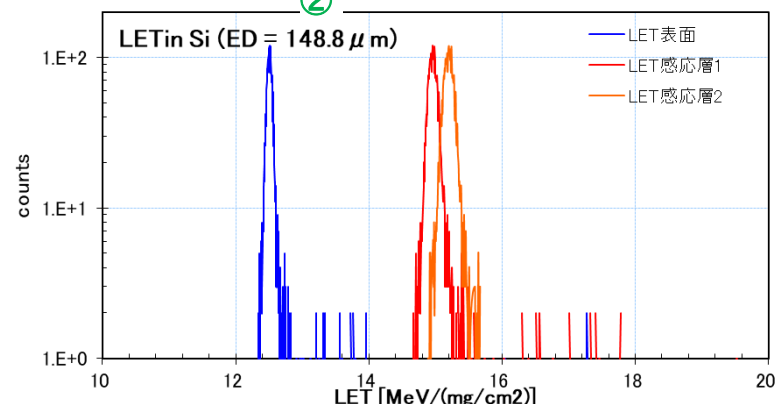
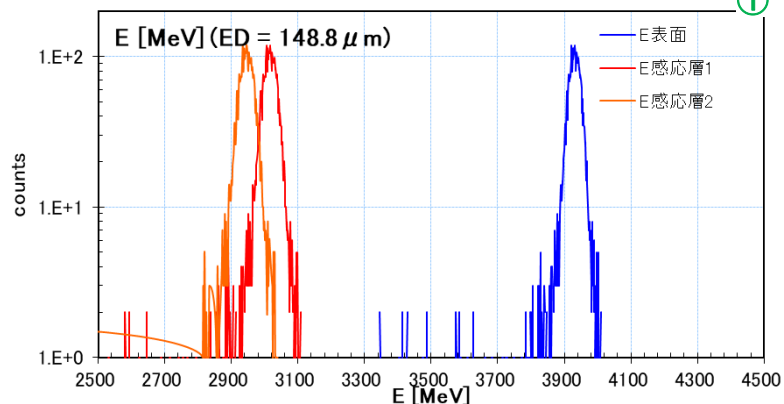
※ この例では、不感層(Si)が 290 μm と厚いので、
試料「表面」での E スペクトルは、感応層1 に到達するまでに
Eがかなり減衰していることがわかります。
それに伴い、LET値も大きくなっています。

(注) これらのスペクトルは、ヒストグラムではなく「折れ線グラフ」です。
各 ADC [ch] 毎に計算した値を繋いだ線ですので、binning サイズが一定ではありません。

| | | |
|----------|---------------------|--------------------|
| RunName= | scnEDssd03-0008.dmp | R03.00度 LET15 |
| EDeg = | 148.8 μm | EDptn 000450000000 |

| | Mat | SRIM Fit W.S.name | | 厚さ[μm] | 角度 | eff.Thick |
|---|-------|-------------------|---------|---------------------|-----|-----------|
| 1 | Epoxy | srin84Kr_Epoxy | 不感層1=無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | SiO2 | srin84Kr_SiO2 | 不感層2=無し | 0.0 | | 0.0 |
| 3 | Si | srin84Kr_Si | 不感層3 | 290.00 | | 290.0 |
| 4 | Si | srin84Kr_Si | 感応層1 | 20.0 | | 20.0 |
| 5 | Si | srin84Kr_Si | 感応層2=無し | 0.0 | | 0.0 |

| | 生データ | 試料表面で | | | | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | |
|------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|--------|-------|-------------|----------|--------|--------------|-------|--------------|--------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | fit_生Data | fit_E表面 | fit_LET表面 | Rng表面 | E感応層1 | fit_LET感応層1 | g感応層1 | E感応層2 | fit_LET感応層2 | g感応層2 | 感応層2出 | fit_LET感応層2出 | 感応層2出 | | | | |
| | counts | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m |
| X0 = | 2604.4 | 3931.3 | 46.802 | 12.51 | 862.6 | 3016.2 | 35.907 | 14.96 | 572.6 | 2945.7 | 35.068 | 15.20 | 552.6 | 2874.0 | 34.215 | 15.45 | 532.6 |
| sg = | 12.6 | 18.5 | 0.220 | 0.04 | 6.3 | 21.7 | 0.259 | 0.07 | 6.3 | 22.6 | 0.269 | 0.08 | 6.3 | 22.6 | 0.269 | 0.08 | 6.3 |
| a = | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.5 | 105.5 | 104.8 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 | 105.9 |



① 目標 LET = 15 に対して、実測では $14.96 \pm \sigma 0.07$ でした。

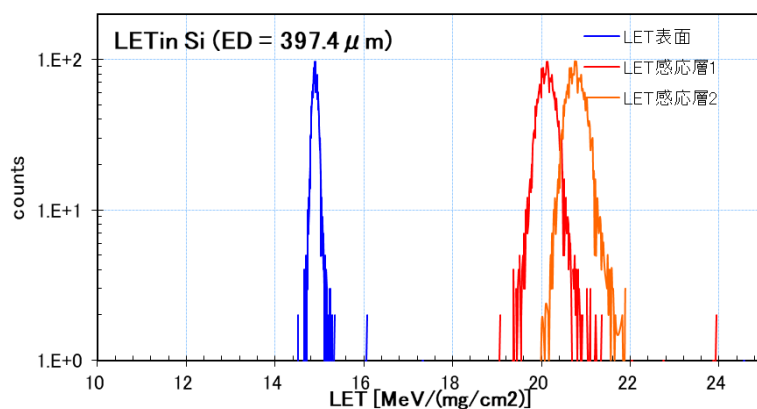
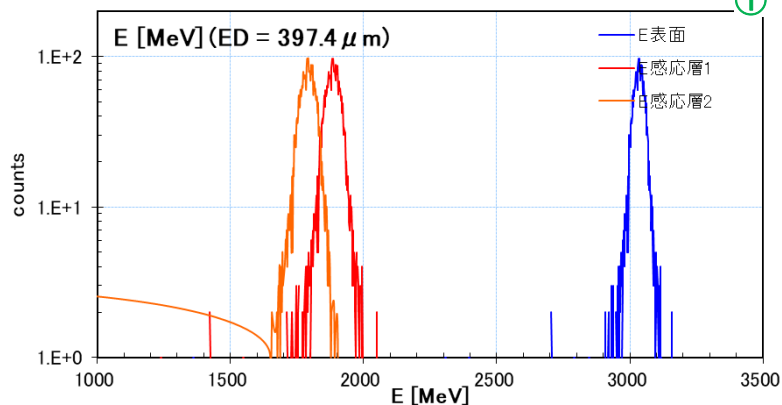
② 「感応層1の 出口位置」では、 $15.20 \pm \sigma 0.08$ に変化しています。

(注) これらのスペクトル計算では、物質通過によるエネルギーストラグリングを考慮していません。
よって実際には、この計算値より「幅が広がっている」等です。

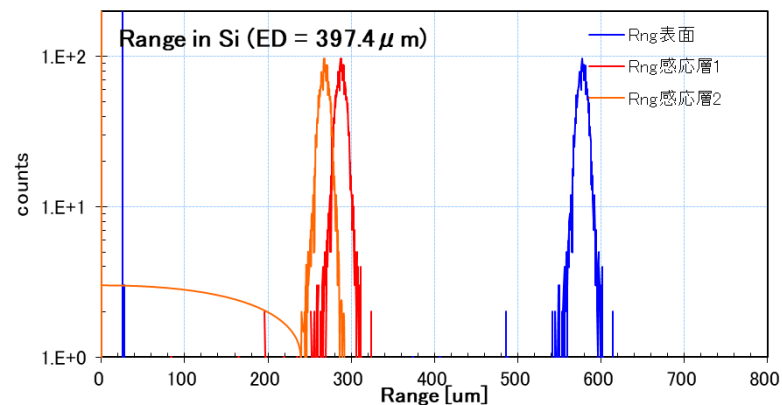
| | | |
|----------|---------------------|---------------------|
| RunName= | scnEDssd03-0005.dmp | R02.00度 LET20 |
| EDeg = | 397.4 μm | EDpnt 0000567000000 |

| | Mat | SRIM Fit W.S.name | | 厚さ[μm] | 角度 | eff.Thick |
|---|-------|-------------------|---------|---------------------|-----|-----------|
| 1 | Epoxy | srin84Kr_Epoxy | 不感層1=無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | SiO2 | srin84Kr_SiO2 | 不感層2=無し | 0.0 | | 0.0 |
| 3 | Si | srin84Kr_Si | 不感層3 | 290.00 | | 290.0 |
| 4 | Si | srin84Kr_Si | 感応層1 | 20.0 | | 20.0 |
| 5 | Si | srin84Kr_Si | 感応層2=無し | 0.0 | | 0.0 |

| | 生データ | 試料表面で | | | | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | |
|------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|--------|-------|-------------|----------|--------|--------------|-------|--------------|--------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | fit_生Data | fit_E表面 | fit_LET表面 | Rng表面 | E感応層1 | fit_LET感応層1 | g感応層1 | E感応層2 | fit_LET感応層2 | g感応層2 | 感応層2出 | fit_LET感応層2出 | 感応層2出 | | | | |
| | counts | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m |
| X0 = | 1994.8 | 3034.2 | 36.122 | 14.90 | 577.9 | 1885.3 | 22.445 | 20.11 | 287.9 | 1791.4 | 21.326 | 20.77 | 267.9 | 1693.6 | 20.162 | 21.52 | 247.9 |
| sg = | 15.1 | 22.2 | 0.264 | 0.07 | 6.5 | 30.3 | 0.361 | 0.20 | 6.5 | 31.3 | 0.372 | 0.23 | 6.5 | 32.6 | 0.388 | 0.26 | 6.5 |
| a = | 83.8 | 83.8 | 83.8 | 83.7 | 83.9 | 83.9 | 83.9 | 83.9 | 83.9 | 84.0 | 84.0 | 84.4 | 83.9 | 84.0 | 84.0 | 84.2 | 83.9 |



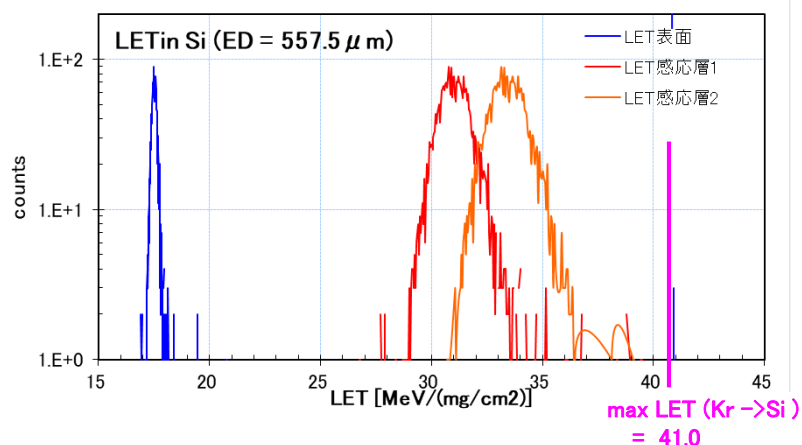
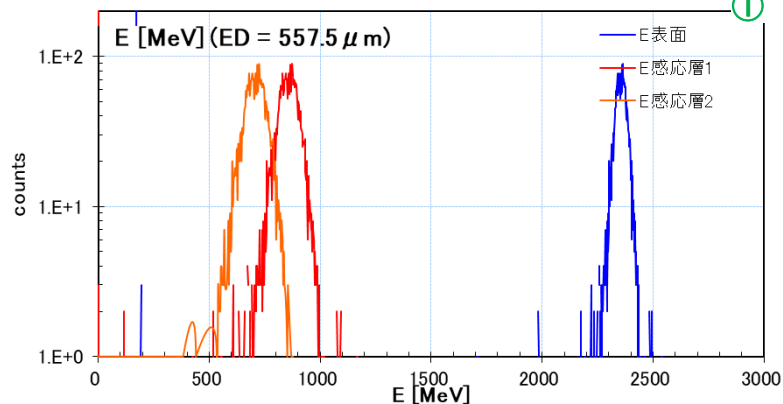
① 目標 LET = 20 に対して、実測では $20.11 \pm \sigma 0.20$ でした。



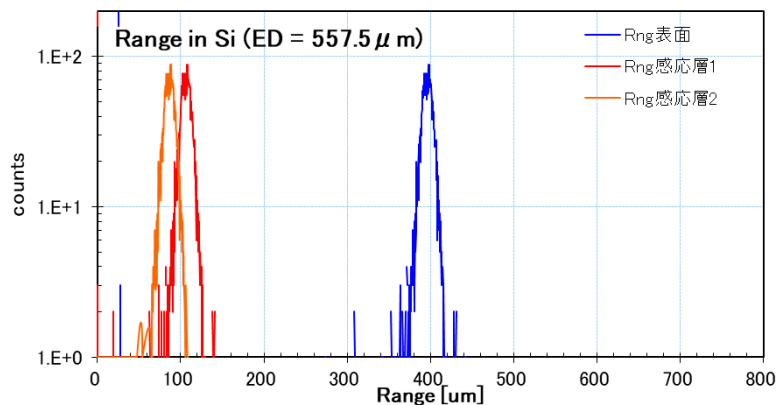
| | | |
|----------|---------------------|---------------------|
| RunName= | scnEDssd03-0006.dmp | R03_00度_LET30 |
| EDeg = | 557.5 μm | EDptn 1204000800000 |

| | Mat | SRIM Fit W.S.name | | 厚さ[μm] | 角度 | eff.Thick |
|---|-------|-------------------|---------|---------------------|-----|-----------|
| 1 | Epoxy | srin84Kr_Epoxy | 不感層1=無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | SiO2 | srin84Kr_SiO2 | 不感層2=無し | 0.0 | | 0.0 |
| 3 | Si | srin84Kr_Si | 不感層3 | 290.00 | | 290.0 |
| 4 | Si | srin84Kr_Si | 感応層1 | 20.0 | | 20.0 |
| 5 | Si | srin84Kr_Si | 感応層2=無し | 0.0 | | 0.0 |

| | 生データ | 試料表面で | | | | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | |
|------|-----------|---------|-----------|-------|-------|-------------|--------|-------|-------------|----------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------|------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | fit_生Data | fit_E表面 | fit_LET表面 | Rng表面 | E感応層1 | fit_LET感応層1 | g感応層1 | E感応層2 | fit_LET感応層2 | g感応層2 | 感応層2出 | fit_LET感応層2出 | 感応層2出 | | | | |
| | counts | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m |
| X0 = | 1533.9 | 2355.8 | 28.045 | 17.51 | 396.6 | 858.7 | 10.222 | 31.01 | 106.6 | 709.4 | 8.445 | 33.41 | 86.6 | 548.2 | 6.526 | 36.21 | 66.6 |
| sg = | 18.0 | 26.5 | 0.316 | 0.11 | 6.6 | 47.1 | 0.561 | 0.72 | 6.6 | 50.8 | 0.604 | 0.85 | 6.6 | 55.1 | 0.656 | 0.98 | 6.6 |
| a = | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.4 | 73.2 | 73.1 | 73.1 | 73.0 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.3 | 73.2 |



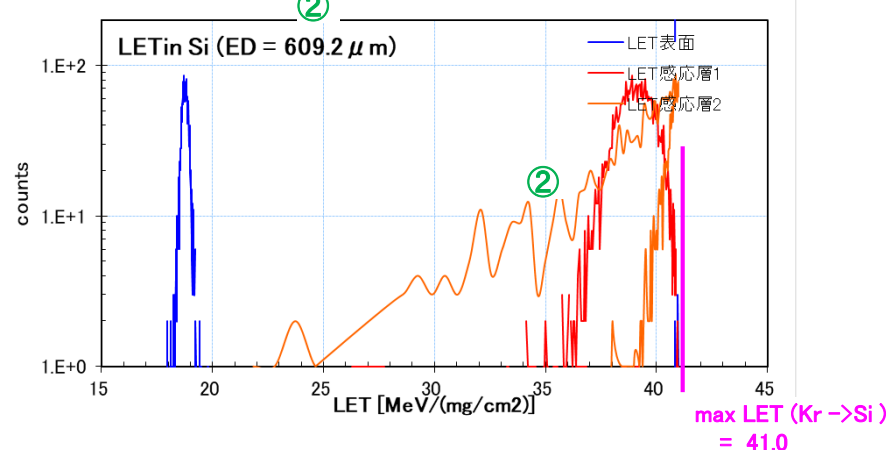
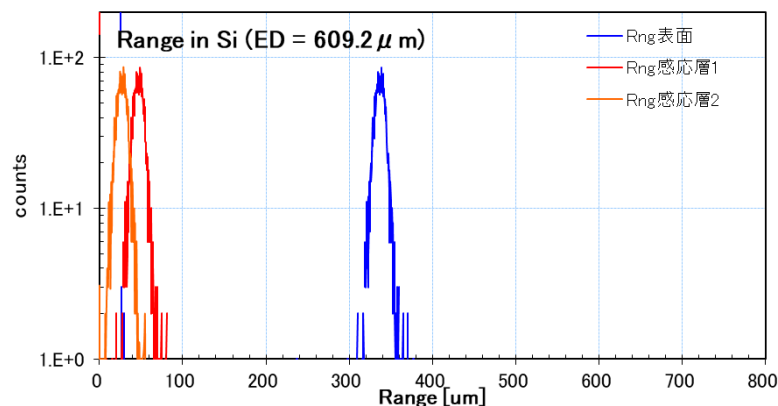
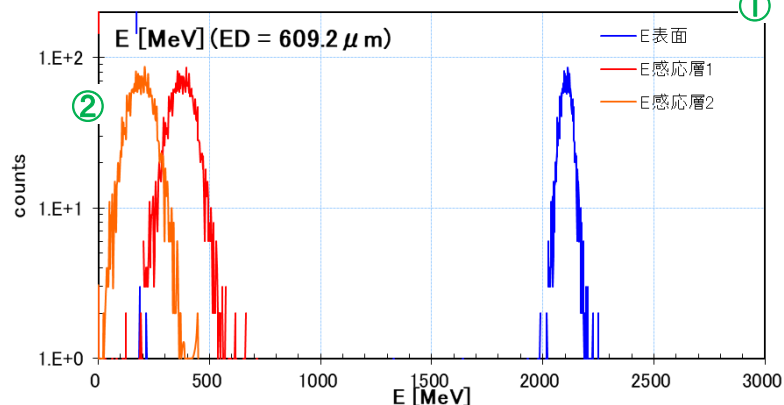
① 目標 LET = 30 に対して、実測では $31.01 \pm \sigma 0.72$ でした。



| | | |
|----------|---------------------|---------------------|
| RunName= | scnEDssd03-0007.dmp | R03_00度 LET38 |
| EDeg = | 609.2 μm | EDptn 1200500800000 |

| | Mat | SRIM Fit W.S.name | | 厚さ[μm] | 角度 | eff.Thick |
|---|-------|-------------------|---------|---------------------|-----|-----------|
| 1 | Epoxy | srin84Kr_Epoxy | 不感層1=無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | SiO2 | srin84Kr_SiO2 | 不感層2=無し | 0.0 | | 0.0 |
| 3 | Si | srin84Kr_Si | 不感層3 | 290.00 | | 290.0 |
| 4 | Si | srin84Kr_Si | 感応層1 | 20.0 | | 20.0 |
| 5 | Si | srin84Kr_Si | 感応層2=無し | 0.0 | | 0.0 |

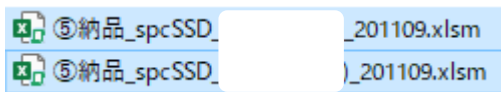
| 生データ | 試料表面で | | | | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | |
|-----------|---------|-----------|--------|---------------|----------|-------------|-------|---------------|----------|-------------|-------|---------------|--------------|--------------|-------|---------------|
| fit_生Data | fit_E表面 | fit_LET表面 | Rng表面 | | E感応層1 | fit_LET感応層1 | g感応層1 | | E感応層2 | fit_LET感応層2 | g感応層2 | | 感応層2出 | fit_LET感応層2出 | 感応層2出 | |
| counts | MeV | MeV/u | LET | μm | MeV | MeV/u | LET | μm | MeV | MeV/u | LET | μm | MeV | MeV/u | LET | μm |
| X0 = | 1363.9 | 2105.6 | 25.067 | 18.76 | 337.0 | 377.3 | 4.492 | 39.09 | 47.0 | 191.7 | 2.282 | 27.0 | 37.0 | 0.440 | 7.5 | |
| sg = | 19.0 | 27.9 | 0.332 | 0.15 | 6.5 | 58.4 | 0.695 | 0.90 | 6.5 | 60.6 | 0.721 | 6.5 | 34.7 | 0.413 | 5.9 | |
| a = | 71.7 | 71.7 | 71.7 | 71.7 | 71.7 | 71.8 | 71.8 | 72.1 | 71.7 | 71.9 | 71.9 | 71.7 | 71.0 | 71.0 | 72.8 | |



① 目標 LET = 38 に対して、実測では $39.09 \pm \sigma 0.90$ でした。

② 「感応層1の出口位置」では、
Eスペクトルでは、停止 0 MeV はしていないものの、
LETスペクトルでは、
ビームの半分以上は max LET を超えて 折り返していた模様です。
LET peak の Gauss Fit はできませんでした。

※ この例のように、不感層が厚い場合で、
max LET 近傍を狙った設定には注意が必要です。
max LET より、余裕をもって低いLET値にしておいた方が安全です。

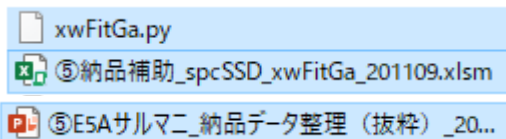
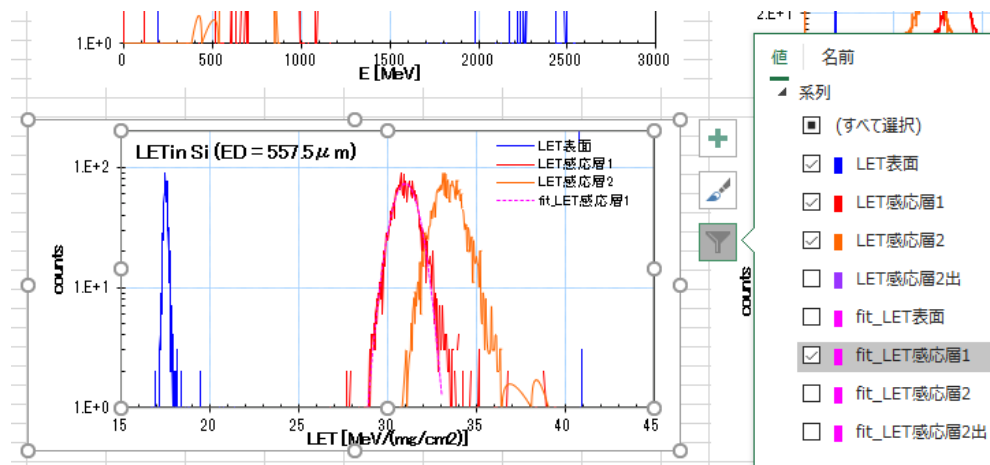


← スペクトルの元グラフは、このExcelファイルに入っています。(計算結果の数値のみ)
X,Y軸の表示範囲や、Fitting曲線表示 など、必要に応じて変更してください。

| | | |
|----------|---------------------|---------------------|
| RunName= | scnEDssd03-0006.dmp | R03_00度_LET30 |
| EDeg = | 557.5 μ m | EDptn 1204000800000 |

| 生データ | 試料表面で | | | | 感応層1 表面で | | | | 感応層2 表面で | | | | 感応層2 裏面(出口)で | | | | |
|-----------|---------|-----------|--------|-------|----------|-------------|--------|-------|-------------|-------|-------|--------------|--------------|-------|-------|-------|------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| fit_生Data | fit_E表面 | fit_LET表面 | | Rng表面 | E感応層1 | fit_LET感応層1 | g感応層1 | E感応層2 | fit_LET感応層2 | g感応層2 | 感応層2出 | fit_LET感応層2出 | 感応層2出 | | | | |
| counts | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | MeV | MeV/u | LET | μ m | |
| X0 = | 1533.9 | 2355.8 | 28.045 | 17.51 | 396.6 | 858.7 | 10.222 | 31.01 | 106.6 | 709.4 | 8.445 | 33.41 | 86.6 | 548.2 | 6.526 | 36.21 | 66.6 |
| sg = | 18.0 | 26.5 | 0.316 | 0.11 | 6.6 | 47.1 | 0.561 | 0.72 | 6.6 | 50.8 | 0.604 | 0.85 | 6.6 | 55.1 | 0.656 | 0.98 | 6.6 |
| a = | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.4 | 73.2 | 73.1 | 73.1 | 73.0 | 73.2 | 73.2 | 73.2 | 73.3 | 73.2 | |

下記スペクトルの
Gaussian Fit
の結果値です。



← 尚、Gaussian Fitting をやり直したい場合は、
これらのファイルを使う必要があります。
詳しくは、マニュアル参照。Python のインストールが必要です。

※ 必要でしたら、前述の LET, Range スペクトルを計算している
SRIMfit Excel 表も提出させていただきます。
(貴社PCに SRIMfit のインストールが必要です)

以上です。

ご質問等ございましたら、お問い合わせください。

理研・産業チーム