

# 重RIビーム粒子識別用検出器の開発 Detector Developments for Heavy RI Beam Identification (16P181)

小林俊雄<sup>a</sup>, 松田洋平<sup>a</sup>, 來山益久<sup>a</sup>, 大関和貴<sup>a</sup>, 大津秀暁<sup>b</sup>, 佐藤良輝<sup>c</sup>, 高田栄一<sup>d</sup>  
T.Kobayashi<sup>a</sup>, Y.Matsuda<sup>a</sup>, M.Kitayama<sup>a</sup>, K.Ozeki<sup>a</sup>, H.Otsu<sup>b</sup>, Y.Satou<sup>c</sup>, E.Takada<sup>d</sup>

## Abstract

We have developed and tested various detectors for the particle identification of heavy RI beams in the few hundreds/nucleon energy region. These are three types of cathode-readout drift chambers and multiwire proportional chambers at atmospheric pressure for tracking, narrow-cell drift chambers for tracking high-intensity beams, and NaI(Tl) detectors for total-energy measurements.

## 1. 研究の目的とバックグラウンド

RI Beam Factory (RIBF)での原子核実験に用いる大立体角磁気分析器(Samurai)とその検出器系の設計・開発を行っている。RIBFでは250-350 MeV/Aエネルギー領域の中重核RIビームに重点が置かれており、Samuraiを用いた実験での最大の課題点は、反応で超前方に放出される重い入射核破片(重イオン)の粒子識別である。粒子の質量数Aと原子番号Zを識別するには、電荷Z、運動量R(magnetic rigidity)、速度 $\beta$ 、全エネルギーEのうち3種類の独立な測定が必要となる。例えば質量数A=100に対し質量分解能 $\sigma_A=0.2$ が必要とすると、運動量R=2.2 GeV/cに対して $\sigma_p/p=1/700$ の運動量分解能、速度 $\beta=0.6$ に対して $\sigma_\beta/\beta=1/1000$ の速度分解能、又は全エネルギーE=25GeVに対して $\sigma_E/E=1/1000$ の全エネルギー分解能が必要となる。これらのどれを取っても検出器技術的には非常に困難な問題を含み、又これまで殆ど調べられた事がない。

250MeV/Aエネルギー領域で質量数100程度までの重イオンの粒子識別に必要な色々な検出器を系統的に調べる為、HIMACで各種検出器のビーム試験を行った。

## 2. 今年度の研究内容と結果

今年度は、低物質質量( $L/L_T < 5 \times 10^{-4}$ )と高位置分解能( $\sigma \sim 100 \mu$ )を兼ね備えた位置検出器として3種類のカソード読出型drift chamber (KDC) /multiwire proportional chamber (KPC)、20GeV程度の大きな全エネルギー測定に対して高いエネルギー分解能( $\sigma/E \sim 0.1\%$ )を持つ事が前年度の研究で判明したNaI(Tl)のより重い粒子に対する応答と高強度ビームに対する応答、高強度ビーム( $> 10^6/\text{sec}$ )に最適化したhigh-rate beam drift chamber (HRBDC)の軽い粒子に対する応答の3項目を、6月と1月の2回のビームタイムでビーム試験を行った。

### 2.1 カソード読出型DC (KDC)/MWPC (KPC)

前年度までは $L/L_T \sim 10^{-4}$ と非常に低物質質量であるカ

ソード読出型DC (KDC)を、10-100 torr程度の低圧力で用い、重い粒子に対して $\sigma \sim 100 \mu$ m程度の位置分解能が得られる事が判明した。このKDCは、カソードストリップをアルミ両面蒸着マイラーをレーザー加工で製作する方式を採用したが、加工の制限から有効領域 $100 \times 100 \text{mm}^2$ 程度に制限される。SAMURAIでは大立体角を被う為に面積で約6倍程度の有効領域を持つ位置検出器が必要である。その為、物質量は少し増加するが、大きな有効領域を持つ位置検出器が製作可能な、ワイヤーカソード方式を持つ2種類のカソード読出型MWPC (KPC)の試験を、前回用いたKDCと共に、ガス圧力を大気圧で動作させ、ビーム試験を行った。

カソード読出型の位置検出器は、検出器本体に設置する前置増幅器、その信号を整形増幅する整形増幅回路、ADC測定用に約500nsecアナログ信号を遅らせる遅延回路が必要である。前回までは遅延回路としてcable delayを用いていたが、非常に場所をくう。その為、前置増幅器からの信号の差動受信、増幅、整形(微分)、遅延を行う特殊回路を開発した。NIM 1 巾のmoduleで16chのアナログ信号を処理可能で、空間的な問題は改善される。

KPC1は、anode wire間隔1mm、half gap 3mm、cathode wire間隔1mmで、cathodeはx, y, u, vからなる。Cathode wireはx,yに関しては4mmおき、u,vに関しては6mmごとに読出し、有効領域は $186 \text{mm} \times 186 \text{mm}$ である。KPC2は、anode wire間隔2.5mm、half gap 8mm、cathode wire間隔2.5mmで、cathodeはx,y,uからなる。Cathode wireはx,y,uとも12.5mm間隔で読出し、有効領域は $600 \text{mm} \times 460 \text{mm}$ と比較的大きい。

KDC, KPC1/2の位置分解能を測定する為に、これらの検出器の上流に通常BDC (Beam drift chamber)を設置し、trackの外挿から位置分解能を求める方式をとった。検出器ガスとして、KDCはHe+50% $\text{C}_2\text{H}_6$ 、KPCはHe+20% $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$ を大気圧で、ビームとしては300MeV/A Kr (z=36) 1次ビームを用いて試験を行った。

Krビームに対して検出効率の高電圧依存性を測定し、動作高電圧でのカソード信号をオシロで観測した。その結果、この回路系は1/tテールの影響を完全には除去できていない事がわかり、回路の一部修正を予定している。又、前置増幅器の時定数が16nsecと80nsecの2つの場合の測定も行った。

KDC/KPCの位置分解能は、BDCからの外挿誤差がまだ正確に差し引かれてはいないが、高電圧のプラトー領域において、KDCに対して約 $300 \mu$ m、KPCに対して約 $250 \mu$ mの分解能が得られている。

しかし、アナログ信号のdynamic rangeなどを考えると、色々な電荷が混じる場合への適用には問題が生じる可能性がある。又、KPC2は測定の間中1度anode wireが切れ修理を行った。比較的大きな検出器の場合の構造的な問題もある可能性を示している。

結論として100x100mm<sup>2</sup>から600x450mm<sup>2</sup>の有効領域を持つKDC/KPCの、300MeV/A Kr (z=36) に対する応答を調べ、そこそこの位置分解能が得られた。まだ整形増幅/遅延回路と構造上の問題が残っている。

## 2.2 High-rate beam drift chamber (HRBDC)

これまでSAMURAIで用いる色々な位置検出器を試験してきたが、小形の試作機を低強度ビームに対して用いる場合には、軽い粒子(z=10)から重い粒子(z=36)にわたり、ほぼ要求通りの性能が得られている。次の段階としては、RIBFでの特徴である高強度ビームへの対応がある。この目的でnarrow cell drift chamberを、230-300MeV/Aの高強度軽ビーム(He, C, Ne)に対して試験を行った。

高強度ビームに対応する為、drift距離は2.5mmと小さく、低電圧で動作させる為高利得のPreAmp-shaper-discriminator (ASD)を用いる。検出器はxyx' y' xyx' y' の8面からなり、高いredundancyを持ち、有効領域は80x80mm<sup>2</sup>である。検出器ガスとしてHe+50% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>をイソプロピルアルコール中をバブルさせて、大気圧で用いる。比較の為にdrift距離10.5mmの6角セル型drift chamber (FDC)も同じ条件で試験した。

230-290MeV/AのHe (z=2), C (z=6), Ne (z=10) ビームに対し、約10<sup>4</sup>/spill低強度で検出効率の高電圧依存性を調べ、プラトー領域付近での位置分解能を調べる。Heに対し、一番良い条件のもとでは、HRBDCは約80μm、FDCは約50μmの位置分解能が得られた。

次に、ビーム強度を100K/spill, 500K/spill, 1M/spill, 2M/spillと変え、検出効率と位置分解能の高電圧/ビーム強度依存性を測定した。HIMAC加速器のビーム構造により、瞬間強度はこの約2倍になる。Cビーム(z=6)に対して、HRBDCの位置分解能は10K-2M/spillでほぼ一定の約90μmであった。しかしFDCの方は、同じ範囲で約50μmから150μmへ急激に劣化する。FDCでは、空間電荷の影響と思われるが、高強度で検出効率曲線が高電圧側にシフトする事が観測された。Ne (z=10)ビームに対しては、HRBDCはプラトー付近で約70μmの位置分解能を持つ。当然ではあるが、ASDのthresholdを低くした方が広い高電圧の範囲で安定した位置分解能が得られる。

結論としては、HRBDCは250-300MeV/Aのエネルギーの軽核ビーム (z=2-10) に対して、約4MHzの高計数率まで100μm以下の位置分解能を持ち、安定に動作する事がわかった。一方drift 距離の大きなFDCはビーム強度の増加により位置分解能が3

- 4倍程度劣化する。

## 2.3 NaI(Tl) 全エネルギー検出器

前回まで直径3", 厚さ3" のNaI(Tl)検出器は250MeV/A Kr (z=36, A=84) 領域で0.15%程度のエネルギー分解能を持つ事がわかった。

今回は、エネルギー分解能の測定をXe (z=54, A=132)に拡大する事と、Photomultiplierに対して数種類のbreederを試験する事、ビーム強度依存性の3項目を調べた。

Xe 1次ビームをNaI(Tl)に直接入射させエネルギー分解能を測定した。ビーム強度が約100/spillと弱い場合には、0.11-0.15%程度の全エネルギー分解能が得られた。しかし、ビーム強度が700/spill以上では、約2倍以上分解能が劣化し、3k/spill以上では長いテールを引くようになる。この状態はbreederに3段boosterをつけても、より大きなテーパーを持つbreederをつけても変化がなかった。又、anode信号を直接charge sensitive ADCに入力する場合と、anode電荷をpreampで積分し3μsec程度の整形増幅回路出力をpeak sensitive ADCに入力する場合とでも、差が無い。結晶の個体差がある事から、分解能が結晶の状態による可能性も考えられる。

結論としては、ビーム強度が約100/spillと非常に弱い場合のみ、0.11-0.15%のエネルギー分解能がXeビームに対しても得られる。しかし、ビーム強度が少し増加しただけで、分解能は急激に増加し、現実的にはRIBFでは実用にならないと思われる。Boosterを入れても、breederのテーパーを変えても改善されないという事は、原因が単純ではないという事を示しているであろう。

昨年度測定したCsI(Tl)をphoto diodeで読み出した場合にもKrに対して似たような現象が見られた。両者に共通しているのは、蛍光の時定数が長いという事であり、例えば蛍光時定数の短いCsI(pure)などを試験する必要があると考えられる。

## 3. まとめ

約2年間半にわたり、RIBFでのSAMURAIに必要な各種検出器に開発と試験を行った。完全に系統的に調べたわけではないが、小形試作機と低強度ビームの組み合わせでは、ほぼ要求通りの性能が得られた。しかしRIBFの特徴である高強度ビームを有効にいかす為には、高強度に対応可能な検出器の開発と、大型化の伴う問題の解決が必要である。

- 東北大学大学院理学研究科
- 理化学研究所
- 東京工業大学大学院理工学研究科
- 放射線医学総合研究所物理工学研究部