

機関番号：82110
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20540301
 研究課題名（和文） 120番元素合成にむけた変形核ウラン238とニッケル64の融合障壁分布測定
 研究課題名（英文） Barrier distributions of Nickel 64 on deformed Uranium 238 in fusion reactions for element 120
 研究代表者
 光岡 真一 (MITSUOKA SHINICHI)
 独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・研究主幹
 研究者番号：40354881

研究成果の概要（和文）：原子番号が104番より大きな超重元素は自然界には存在せず、加速器からの重イオンビームを標的原子核に照射して人工的に合成されおり、120番元素の合成候補であるニッケル64と変形したウラン238との反応において、入射エネルギーの微調整が容易でエミッタンスのよい重イオンビームを供給できる日本原子力機構のタンデムブースター加速器を用いて、融合障壁分布を測定し、重い元素合成への新たな道を拓く。

研究成果の概要（英文）：Super-heavy elements beyond Z=104 have been synthesized by using fusion reactions of heavy elements bombarded by heavy-ion beams from accelerators. One of the promising fusion reactions for synthesis of element 120 is Nickel 64 beams on well-deformed Uranium 238. In this reaction, the barrier distributions have been measured by using the JAEA tandem-booster accelerators.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：実験核物理、加速器

1. 研究開始当初の背景

原子番号が92番のウランより重い元素は自然界には存在せず、原子番号が104番より大きな「超重元素」は加速器からの重イオンビームを標的原子核に照射して人工的に合成されてきた(図1)。これまで、鉛などを標的とした「冷たい融合反応」により113番元素までが合成され、ウランやプルトニウムなどを標的とした「熱い融合反応」ではさらに重い114～118番元素を合成したと報告されている。

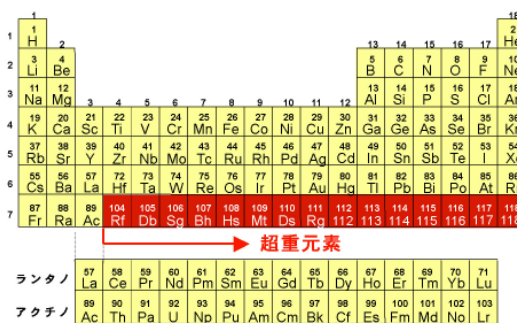


図1：元素の周期表

しかし、その生成確率は1ピコバーン程度と極めて小さく、どの入射エネルギーを選択するかが極めて重要となるが、最適なエネルギー選択に不可欠であるポテンシャル障壁の位置は実験的には測定されておらず、理論によっても数MeV程度の範囲でばらつきがある。エネルギーの選択が数MeVでもずれれば、生成確率は約1/10と激減し、この種の合成実験には致命的となる。

2. 研究の目的

本研究では、120番元素の合成候補であるニッケル64と変形したウラン238との反応 $^{64}\text{Ni}+^{238}\text{U}$ において、180度近傍へ後方散乱された準弾性散乱粒子を測定し、入射エネルギーを精度よく細かく変えることにより散乱断面積の励起関数を求めて、ポテンシャル障壁の分布を実験的に導出する(図2)。これにより、大きく変形したウラン238との融合反応機構を明らかにし、さらに重い元素合成への新たな道を拓く。

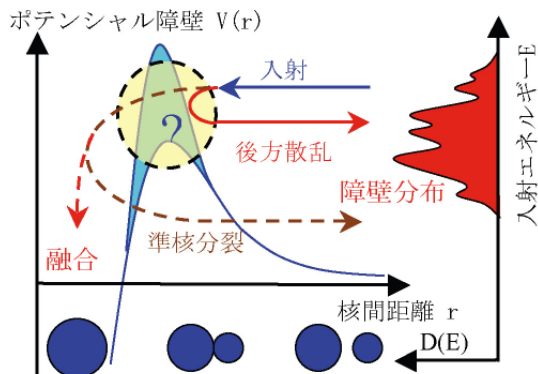


図2：後方準弾性散乱による障壁分布

3. 研究の方法

実験は、入射エネルギーの微調整が容易でエミッタンスのよい重イオンビームを供給できる日本原子力機構のタンデム・ブースター加速器実験施設で行った。まずは、内径が120cmと非常に大きな円筒型の真空散乱槽をブースターターゲット室に移設し、さらに核燃料物質であるウランを安全に取り扱い、照射できるように大型真空散乱槽の上蓋等の改造を行った(図3上)。散乱槽の中には、核分裂片の飛行時間法による質量分布測定が行えるようにも最適化した(図3下)。

次に、ブースター加速したニッケルビームをトランスポートし、ウラン標的用の薄膜バックリングに本実験と同じ条件で照射し、耐久性が十分であることを確認した。ビームは、図中の上方向から入射され、ウラン標的を照射して、核分裂した2つの分裂片は、左右に置いたPPAC(平行平板型ガス検出器：幅

200mm×高120mm)で同時計測され、打ち込まれた飛行時間差から質量分布を求めることができる。PPACは位置検出型であり、核分裂片の放出角度を決めることで、クローン励起による核分裂と区別することができる。さらに、ビーム入射方向に対して後方172度と162度方向に散乱された準弾性散乱粒子を同心円上に配置した各8つの半導体検出器で検出した。ビームの入射エネルギーを1.5MeV毎に変化させ、詳細な準弾性散乱断面積の励起関数を測定した。

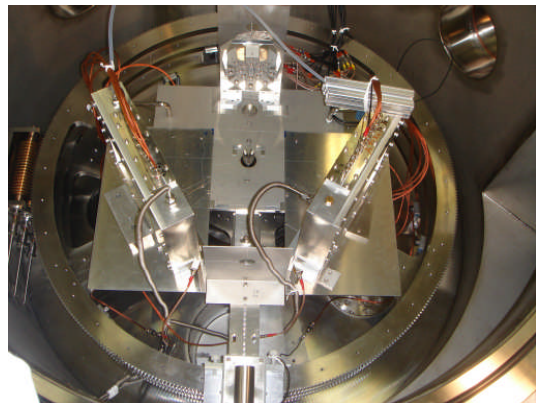


図3：整備した大型散乱槽と検出器群

4. 研究成果

測定した励起関数とラザフォード散乱との比について、重心エネルギーによる一階微分をとることにより、障壁分布を実験的に導出した。今回の120番元素における詳細な結果はまだ解析中であるが、図4に118番元素の合成候補である $^{86}\text{Kr}+^{208}\text{Pb}$ 反応における同様の測定結果を示す。入射エネルギーが276MeVと十分低い場合には、典型的な弾性散乱による中の狭いピークが一本だけ観測されるが、入射エネルギーが高くなるにつれて、ピークが低くなると共に低エネルギー側にテールをひくようになり、最終的には二山構造になる。今回測定対象となる準弾性散乱は、ポテンシャル障壁で後方散乱された弾性

散乱と非弾性散乱および核子移行反応を含めたものであるが、減衰衝突してエネルギー

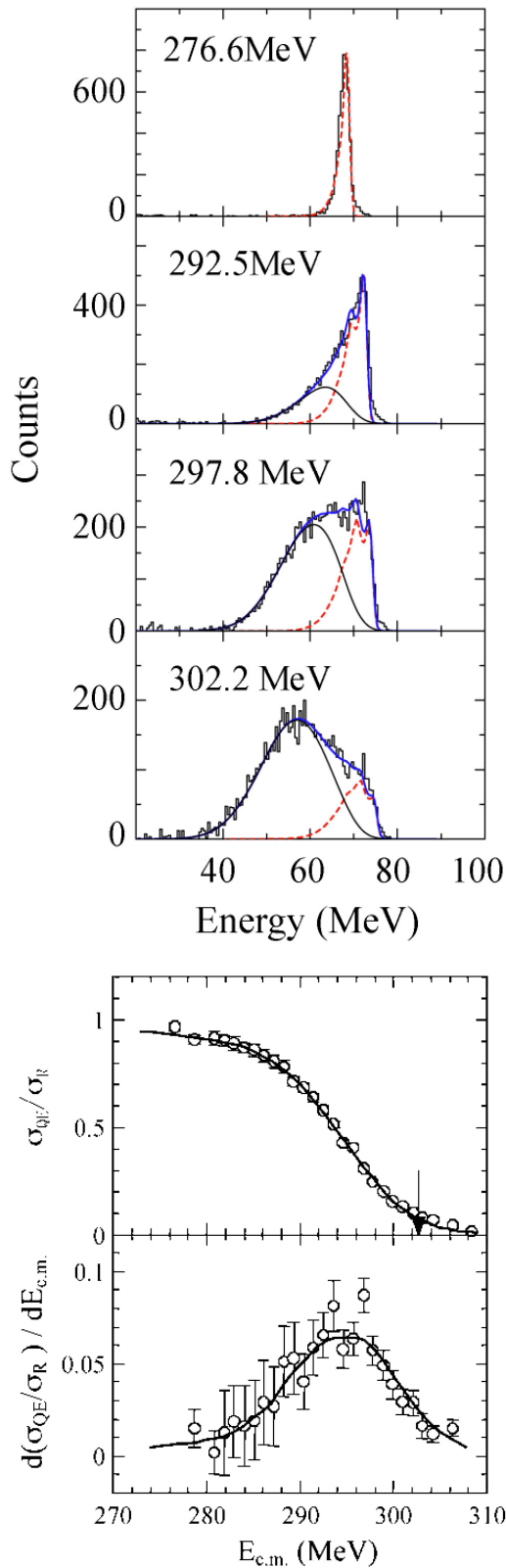


図4: $^{86}\text{Kr}+^{208}\text{Pb}$ 反応における実験結果

を散逸・損失した低エネルギー側の深部非弾性散乱は除く必要がある。

そこで、準弾性散乱については核子移行反応を取り入れた計算コード GRAGING (図4上の赤点線) を用いて、深部非弾性散乱については反応シュミレーションコード LINDA (黒実線) により実験データをフィットし (青実線)、後方準弾性散乱の断面積を求めることができた。こうして得られた励起関数と障壁分布は、このような非常に重い元素合成における初めてのデータであり、これまでの様々な理論で予測されている障壁分布の位置 (図4下の矢印) よりも、10MeV 近くも低いということがわかった。今回解析中の変形したウラン標的の場合には、さらに障壁分布の広がりが大きく、変形の短軸側と長軸側から衝突した場合に障壁の位置が大きく異なるといった変形効果をよく理解することができる。国際会議においても、さらに重い元素合成への新たな道を拓くうえでも重要であるとして、今後の実験に大きな期待が寄せられている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

(1) S. Mitsuoka, H. Ikezoe, K. Nishio, Y. Watabnabe, S.C. Jeong, H. Ishiyama, Y. Hirayama, N. Imai, H. Miyatake
 “Barrier distribution of quasi-elastic backward scattering in very heavy reaction systems”
 International Journal of Modern Physics E 19, 989-996 (2010).

(2) H. Ikezoe, S. Mitsuoka, K. Nishio, Y. Watanabe, S. C. Jeong, I. Nishinaka, T. Ohtsuki, K. Hirose

“Dependence of barrier distribution and fusion-fission process on entrance channel”
 Nuclear Physics A, 834, 172c-175c (2010).

[学会発表] (計2件)

(1) S. Mitsuoka, H. Ikezoe, K. Nishio, Y. Watabnabe, S.C. Jeong, H. Ishiyama, Y. Hirayama, N. Imai, H. Miyatake
 “Barrier distribution of quasi-elastic backward scattering in very heavy reaction systems”
 International Conference on Nuclear Reactions on Nucleons and Nuclei.

2009年10月6日、イタリア、メッシーナ

(2) H. Ikezoe, S. Mitsuoka, K. Nishio, Y. Watanabe, S. C. Jeong, I. Nishinaka, T. Ohtsuki, K. Hirose

“Dependence of barrier distribution and fusion-fission process on entrance channel”
 10th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2009).

2009年8月20日、中国、北京

(3) S. Mitsuoka, H. Ikezoe, K. Nishio,

Y. Watabnabe, S.C. Jeong, H. Ishiyama,
Y. Hirayama, N. Imai, H. Miyatake
“Barrier distribution of quasi-elastic backward
scattering”
The 6th Japan-Italy symposium on Heavy-Ion
Physics (ASR2008).
2008年11月11日、日本、茨城

6. 研究組織

(1) 研究代表者

光岡 真一 (MITSUOKA SHINICHI)
独立行政法人 日本原子力研究開発機構・
先端基礎研究センター・研究主幹
研究者番号：40354881

(2) 研究分担者

池添 博 (IKEZOE HIROSHI)
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
先端基礎研究センター・上席研究主幹
研究者番号：90355058
(H21→H22：連携研究者)

西尾 勝久 (NISHIO KATSUHISA)
独立行政法人 日本原子力研究開発機構・
先端基礎研究センター・研究副主幹
研究者番号：70343928

(3) 連携研究者

チョン スンチャン (JEONG SUNCHAN)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・素粒子原子核研究所・助教授
研究者番号：00262105

渡辺 裕 (WATANABE YUTAKA)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・素粒子原子核研究所・助手
研究者番号：50353363