

[H27-4]

## 高エネルギーC60 イオンを利用した無機材料表面機能改質

Modification of Magnetic Properties of Inorganic Materials

by Using Cluster Ion Bombardment

岩瀬彰宏<sup>#</sup>、松井利之

Akihiro Iwase<sup>#</sup>, Toshiyuki Matsui

Osaka Prefecture University

### Abstract

FeRh thin films were irradiated with energetic C60 cluster ions and the magnetic property was estimated by using XMCD methods at a synchrotron radiation facility. The single carbon ion (C1) irradiation was also performed for comparison. The experimental result shows that even for the same C fluence and the same velocity, the effect of C60 cluster ion irradiation on the magnetic property of FeRh is larger than that of C1 single ion irradiation.

**Keyword:** C60 cluster ion, FeRh, magnetic properties, XMCD

### 1. はじめに

FeRh 金属間化合物をイオン照射すると、本来、反強磁性だった FeRh が強磁性や常磁性に変化することを、我々は示してきた[1,2]。また、イオン照射による磁性変化は、イオンとターゲット原子との弾性的相互作用による付与エネルギー密度で大まかには記述できることも示してきた[3,4]。しかし、最近の Au クラスターイオン照射の結果によると、同じ速度で同じ個数の Au イオンを照射した場合でも、Au 3 クラスターイオンのほうが FeRh の磁性を大きく変化させることが判明した[5]。そこで、今回は、さらに多数のイオンからなるクラスターイオンの代表である C60 クラスターイオンを用いて実験し、C1 単原子イオンの結果との比較を行った。

### 2. 実験方法

量子機構 TIARA タンデム加速器の TC ビームラインにおいて、FeRh 薄膜に 5 MeV の C60 クラスターイオンを照射した。比較のために 83keV C1 単原子イオン照射を、TIARA イオン注入器を用いて行った。なお、両者の照射において、照射された C 原子の総数、単位時間あたりに照射される C 原子数、そして、C 原子 1 個当たりの速度といった照射パラメータはすべて同一条件にしてある。照射量は  $6.75 \times 10^{12}/\text{C} \cdot \text{cm}^2$ 、 $1.35 \times 10^{13}/\text{C} \cdot \text{cm}^2$ 、 $1.35 \times 10^{14}/\text{C} \cdot \text{cm}^2$ 、C1 個当たりのエネルギーは 83keV であった。照射後の試料は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の 16A ビームラインにおいて XMCD(X 線磁気円 2 色性)測定による表面磁性測定を行った。XMCD 測定は、特定の元素による磁性を選択的に抽出し、データを解析することによって、軌道由来の磁性とスピン由来の磁性を分離できることができる手法である。ただし、用いる X 線のエネルギーが鉄の L 吸収端であるため、評価する磁性は極表面のものに限られる。一般に、クラスターイオンはターゲットの奥深く侵入するこ

とにより、クーロン反発力によって解体し(クーロン爆発)、単原子照射と同じ効果をもたらすことになってしまうので、クラスター効果をより明確にとらえるには、試料表面の変化を観測する必要がある。このことから、XMCD 法は、クラスタービームが物質の磁性に及ぼす効果を評価するのに最適の方法であるといえる。

### 2. 実験結果と考察

Fig. 1(a)(b)(c) に、照射量が  $6.75 \times 10^{12}/\text{C}/\text{cm}^2$ 、 $1.35 \times 10^{13}/\text{C}/\text{cm}^2$ 、 $1.35 \times 10^{14}/\text{C}/\text{cm}^2$  のときの XMCD スペクトルを未照射試料に対するスペクトルとともに示す。照射した C 原子の個数などが同一にもかかわらず、C60 クラスターイオン照射と C1 単原子イオン照射に対する XMCD スペクトルは大きく異なる。照射量の少ないときは、C60 クラスターイオン照射のほうが XMCD スペクトルの強度が C1 単原子イオン照射の場合と比べて大きいのにに対し、照射量が大きくなると、大小関係が逆転して、C1 単原子イオン照射のほうが、スペクトル強度が大きくなる。XMCD スペクトルを解析して、Fe 原子一個当たりの磁気モーメントを求め、C イオン照射量に対してプロットしたものが Fig. 2 である。C60 クラスターイオン照射の場合は、非常に小さい照射量で磁気モーメントが増加し、その後減少に転ずるが、C1 単原子イオン照射では、照射量の増加とともに単調に増加する。これらの結果から、C60 のほうが C1 単原子イオンよりもはるかに大きな磁気改質効果をもたらすことが明らかとなった。これは Au クラスターイオン照射の結果とも定性的に一致しており、過去の論文で論じて来たような、弾性的付与エネルギーが、照射による磁性変態を支配するという結論を明確に否定するものである。今回の実験では、C60 イオン照射で、照射量の小さい領域を細かくとっていないが、低照射量領域のデータがそろって来れば、C60 クラスターイオンは非常に少ない照射量で

[H27-4]

FeRh の磁性改質が可能になる、ということがわかる可能性があるため、今後、さらに実験を進める計画である。

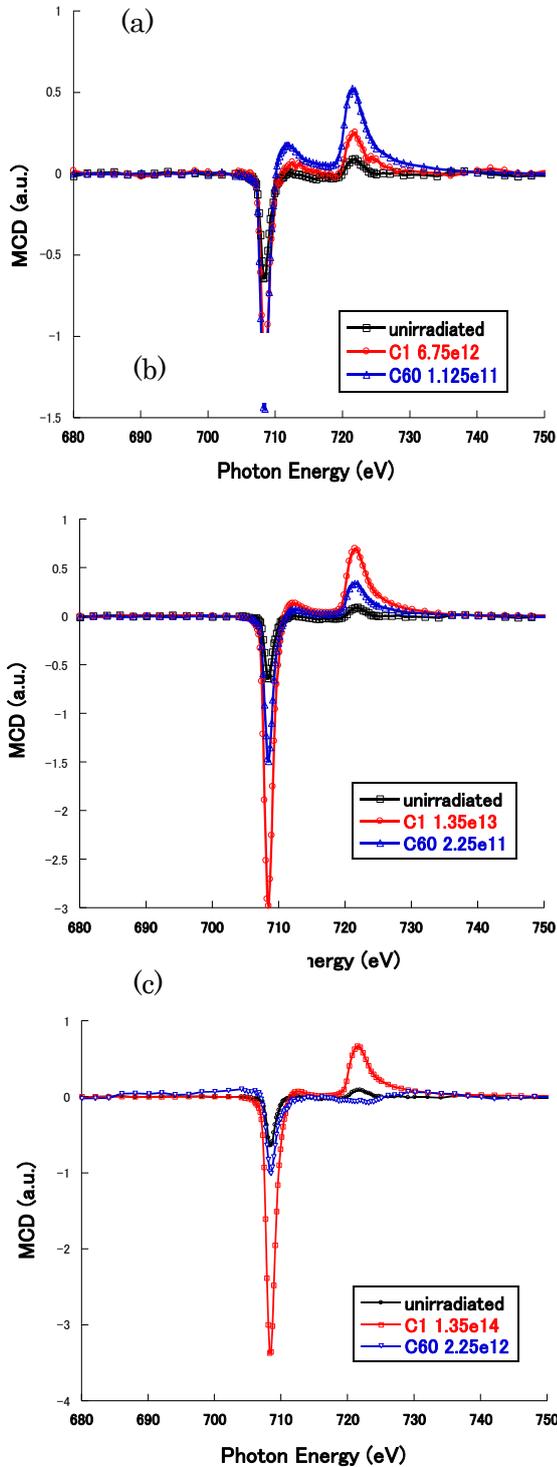


Fig.1 C60 クラスタライオン照射と C1 単原子イオン照射に対する XMCD スペクトルの比較。  
 (a)  $6.75 \times 10^{12} \text{ C/cm}^2$ , (b)  $1.35 \times 10^{13} \text{ C/cm}^2$   
 (c)  $1.35 \times 10^{14} \text{ C/cm}^2$ ,

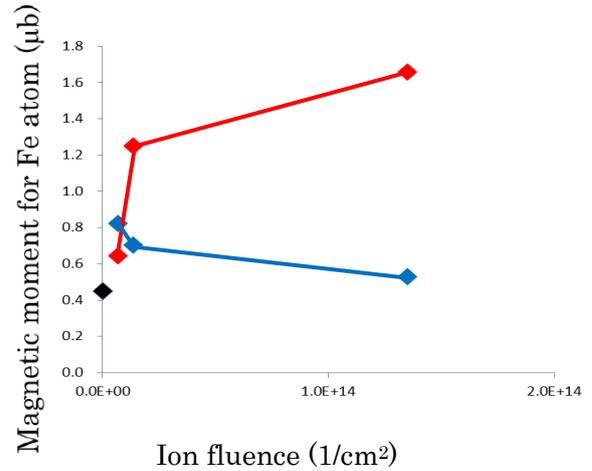


Fig.2 総和則に基づいて求めた Fe 原子一個当たりの磁気モーメントの照射量依存性 (黒) 未照射試料、(赤) C1 単原子イオン照射、(青) C60 クラスタライオン照射

### 参考文献

- [1] 岩瀬彰宏、松井利之、堀史説 金属学会報「まてりあ」 50 巻 (2011) 247-253
- [2] 岩瀬彰宏、松井利之 金属学会報「まてりあ」 54 巻 (2015) 390-397.
- [3] H. Zushi et. al Nucl. Instr. Meth. B256(2007) 434-437.
- [4] Nao. Fujita et. al, J. Appl. Phys.107(2010) 09E302
- [5] T.Koide et..al J. Appl. Phys. 115(2014) 17B722.