

# $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ нэгдлийн гарган авах арга ба түүний соронзон шинж чанарт үзүүлэх нөлөө

Chun Feng<sup>1,2</sup>, Н. Цогбадрах<sup>1,\*</sup>, О. Төгс<sup>2</sup>, Хашчулуун<sup>2</sup>, Д. Сангаа<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Монгол Улс, Улаанбаатар – 14201, Монгол Улсын Их Сургууль, Физикийн тэнхим.

<sup>2</sup> БНХАУ, Хөх хот-010022, Өвөр Монголын Багшийн Их Сургууль, Функционал материалын физик, химийн төв лаборатори.

<sup>3</sup> Монгол Улс, Улаанбаатар – 13330, ШУА, Физик технологийн хүрээлэн.

Хатуу төлөвийн урвалын аргаар  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  феррит материалыг гарган авч, түүний бүтэц, цэвэршилтийг рентген дифракцын аргаар, соронзон шинж чанарыг магнетометр ашиглан судлав. Түүнчлэн хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээжээс ялгарах дулааны хэмжээг дээж гарган авах горим, дулааны боловсруулалтаас хамааруулан тодорхойлов. Дээж гарган авах туршилтаас харахад 8 цаг тээрэмдэж, огцом хөргөх замаар гарган авсан дээж дан куб шпинел бүтэцтэй, кристаллын мөхлөгийн хэмжээ харьцангуй том, ханалтын соронзон момент ба хувьсах соронзон оронд дулаан ялгаруулах чанар нь цэвэр магни феррит ( $MgFe_2O_4$ ) нэгдэлээс илүү болохыг үзүүлэв. Энд 8 цаг тээрэмдсэн дээжийг огцом хөргөхөд ханалтын соронзон момент  $M_s$  нь 14.22 -аас 25.70 Ам<sup>2</sup>/кг болж, үлдэгдэл соронзон момент  $M_r$  нь 7.68–аас 10.16 Ам<sup>2</sup>/кг болж нэмэгдэж байна. Соронзон албадлага  $H_c$  нь дээжийг хөргөх горимоос хамаарахгүй 192 Ое байна. Хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээжийн ялгаруулах дулааныг хэмжихэд  $\Delta t=50^\circ C$  температурын өөрчлөлт үүсгэх хугацаа аяндаа хөргөхөд 122.4 секунд байсан бол огцом хөргөхөд 106.4 секунд болж өөрчлөгдөж байна. Энэ нь дээж гарган авах дулааны боловсруулалтын горимыг өөрчлөх замаар соронзон чанарыг сайжруулж, хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгарах дулааны шинж чанарыг нэмэгдүүлж болохыг харуулж байна.

PACS numbers: 75.47.Lx, 75.60.Ej, 75.60.Lr

## I. ОРШИЛ

Хавдрын халуун эмчилгээнд зориулж, хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дулаан ялгаруулах чадвар өндөр материалыг судлах ажил эрчимтэй явагдаж байна [1]. Иймд ойрын жилүүдэд судлаачид феррит төрлийн соронзон материал  $MgFe_2O_4$ -ийг хавдрын халуун эмчилгээнд хэрэглэх боломжтойг судлан тогтоосон байдаг [1-3]. Хавдрын эс нь хүний биеийн эрүүл эстэй харьцуулахад халуунд тэсвэргүй байдаг бөгөөд хавдартай хэсгийг 42-46°C хүртэл халаах замаар хавдрын эсийн бойжилтыг саатуулах буюу үхжүүлж болдог бөгөөд үүнийг хавдрын халуун эмчилгээ гэдэг [4-5]. Иймээс феррит төрлийн соронзон материалыг биеийн хавдартай хэсэгт тариурын тусламжтай оруулж, өвчтэй хэсгийг хувьсах соронзонд оруулахад тэнд дулаан ялгарч, температур 42-46°C хүрэхэд хавдрын эсийн өсөлт зогсож, үхжин эмчилгээний зорилгот хүрнэ. Ийм эмчилгээ нь хүний биед үзүүлэх сөрөг нөлөө бага, жигд халах, бас гаднын соронзон орны тусламжаар соронзон орны

урсгалын чиглэл, орон зайг оновчтой удирдах болон өвчтэй хэсгийн хэмжээгээр хязгаарлагдахгүй зэрэг олон давуу талуудтай. Иймээс энэ төрлийн эмчилгээний материал өдрөөс өдөрт маш олон судлаачдын анхаарлыг татаж байна.

Соронзон мөхлөгийн дулаан ялгаруулах механизм: соронзон мөхлөгийг гаднын хувьсах соронзон оронд оруулахад дулаан ялгарах шалтгаан нь голдуу доорх хэдэн төрөл байна. Үүнд,

- Диаметр нь 1мм –с дээш хэмжээтэй соронзон мөхлөгт цахилгаан эсэргүүцэл харьцангуй бага байж, ихэвчлэн шилжилтийн гүйдэл, соронзон хожимдлоос болж дулаан ялгаруулна [4].
- Диаметр нь микрометрийн түвшнээс доош хэмжээтэй соронзон мөхлөгүүд голдуу соронзон хожимдлоос болж дулаан ялгаруулна.
- Ниелийн ба Броуны хөдөлгөөний тэнцвэржилтээс дулаан ялгарна.

$Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  феррит материалын гаднын соронзон орны үйлчлэлээр ялгаруулах дулааны

\* Electronic address: tsogbadrakh@num.edu.mn

хэмжээ нь түүний мөхлөгийн хэмжээ болон кристалл бүтэцтэй нягт холбоотой[4-7]. Мэдээж соронзон зууч бодисын дулааны үйлчлэл сайжрах тусам үйлчлэх хугацааг багасгах болон соронзон орны хүч, давтамжийг багасгах боломжтой бөгөөд бодит хэрэглээнд үзүүлэх нөлөө илэрхий байдаг [8-9]. Тухайлбал, материалын дулаан ялгаралтыг сайжруулах нь эмчилгээний үр дүнг сайжрах, өвчинтэй хэсэгт оруулах соронзон материалын хэмжээг багасгаж, хүний биед үзүүлэх сөрөг нөлөөг багасгах болон гаднаас өгөх соронзон орны хүч ба давтамжийг багасгах боломжтой болно. Иймээс тус судалгаанд феррит төрлийн соронзон материалын хувьсах соронзон орны үйлчлэлээр ялгарах дулааны хэмжээг нэмэгдүүлэх ажлыг хийж гүйцэтгэв.

Тус ажлын зорилго нь  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  феррит материалыг хатуу төлөвийн урвалын аргаар хольж тээрэмдэх (ball milling) аргаар гарган авч, түүний кристалл бүтэц, соронзон шинж чанар болон хувьсах соронзон орон дахь дулаан ялгаруулах чадварыг тодорхойлох явдал юм.

## II. ТУРШИЛТЫН АРГА ЗҮЙ

### Дээж гарган авах

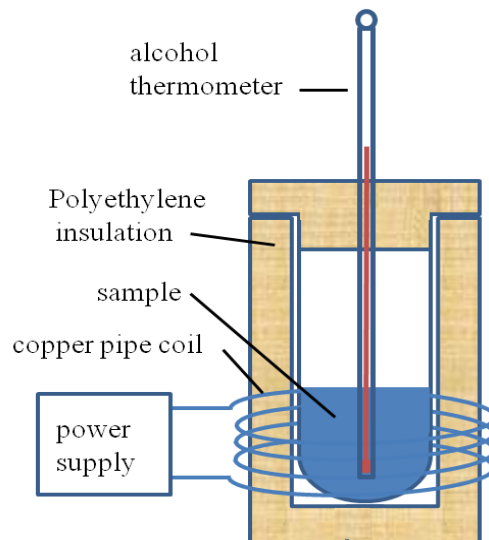
Хатуу төлөвийн урвалын аргаар  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  феррит материалыг гарган авахдаа цэвэр  $Fe_2O_3$  (цэвэршилт > 99.5%),  $MgO$  (цэвэршилт > 99%),  $CaO$  (цэвэршилт > 99%) нунтаг дээжийг нарийн хэмжиж, тодорхой молийн харьцаагаар хольж янз бүрийн хугацаа (4, 8, 12 цаг)-аар тээрэмдэж гарган авна. Эдгээр дээжээс хамгийн сайн чанар үзүүлсэн горимыг сонгон гарган авсан дээжийг  $1100^\circ C$ -т 2 цаг шатааж дулааны боловсруулалтад оруулаад аяндаа хөргөх болон хүйтэн усанд дүрж шууд хөргөж тасалгааны температурт хүргэх зэрэг горимуудаар гаран авч харьцуулан судлав.

### Хэмжилт

Дээрх янз бүрийн горимоор гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжүүдийн кристалл бүтэц, цэвэршилтийг Philips PW-1700 рентген дифрактометрээр, соронзон шинж чанарыг Lake shore 7407 магнетометр ашиглан тус тус хэмжив. Дээжийг хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааныг хэмжихдээ өөрсдийг

загварыг гаргаж бүтээсэн багажаар хэмжсэн бөгөөд төхөөрөмжийг зураг.1-т үзүүлэв.

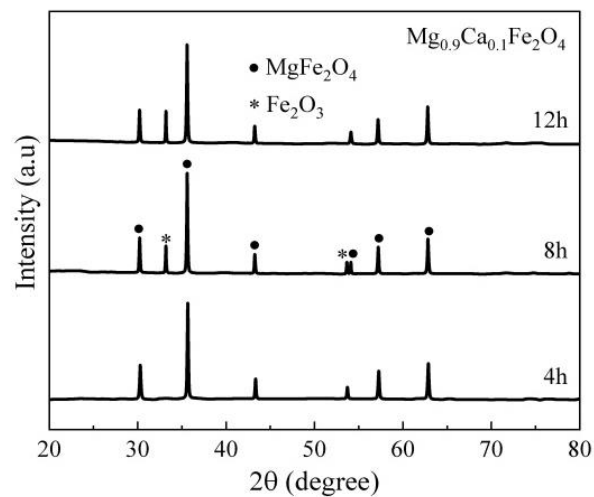
Тус төхөөрөмжийн 100Вт чадалтай, 25кГц давтамжтай хүчдэлийн үүсгүүрт, 6мм диаметртэй зэс утсаар хийсэн ороомгийг хувьсах цахилгаан хүчдэлд холбож хувьсах соронзон орон үүсгэнэ. Колориметрт 2мл нэрмэл усанд 1гр  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  бодисыг хийж ороомгийн дунд хэсэгт байрлуулан, хүчдэл залгаж хугацаа болон холимогын температурын өөрчлөлтийг хэмжиж авах болно.



Зураг 1. Хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээжээс ялгарах дулааныг хэмжих төхөөрөмж.

## III. ҮР ДҮН БОЛОН ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

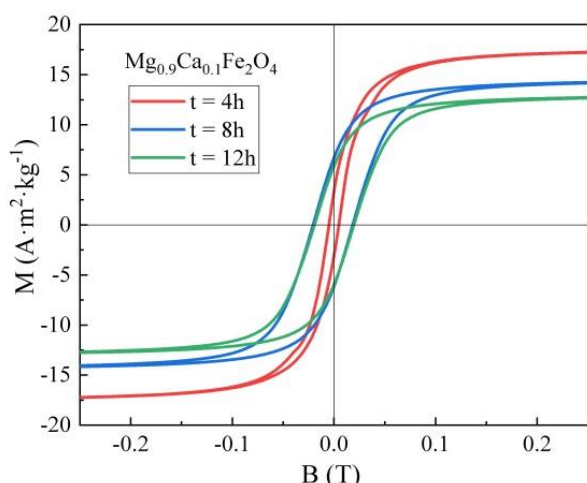
Зураг.2-д  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  нэгдлийг янз бүрийн хугацаа (4, 8, 12 цаг)-д тээрэмдэж гарган авсан дээжийн тасалгааны температур дахь рентген дифракцын спектрийг үзүүлэв.



Зураг 2. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн рентген дифракцын спектр.

Рентген дифракцын спектрийн боловсруулалтаас үзэхэд бүх дээжид  $MgFe_2O_4$  төрлийн (огторгуйн групп нь Fd-3m) кристалл бүтэцтэй байгааг тодорхойлов. Түүнчлэн 8 болон 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан дээжүүдэд туршилтын эх бодис  $Fe_2O_3$  бага зэрэг агуулагдаж байгаа пик илэрсэн байна.

Зураг.3-д  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  нэгдлийн тасалгааны температур дэх соронзон гистерозисын муруйг үзүүлэв. Эндээс үзэхэд 4 цаг тээрэмдсэн дээжийн ханалтын соронзон момент нь өндөр боловч үлдэгдэл соронзон момент ба соронзон албадлага нь 8 цаг тээрэмдсэн дээжийн хувьд илүү үр дүнтэй байна.



Зураг 3. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн тасалгааны температур дэх соронзон гистерозисын муруй.

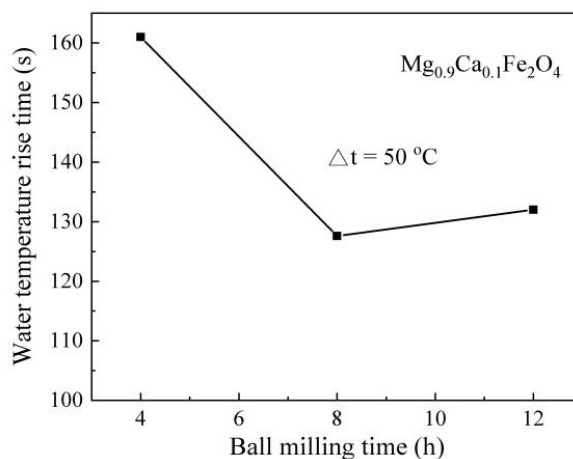
Хүснэгт.1-д янз бүрийн хугацаанд тээрэмдэж гарган авсан дээж тус бүрийн соронзон шинж чанарын хэмжилтийн утгыг үзүүлэв.

Хүснэгт 1. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн нэгдлийн соронзон хэмжилтийн утгууд.

Хугацаа (цаг)	4	8	12
$M_s$ ( $A\cdot m^2/kg$ )	17.24	14.24	12.68
$M_r$ ( $A\cdot m^2/kg$ )	6.2	7.68	6.85
$H_c$ ( $O_e$ )	43	192	192

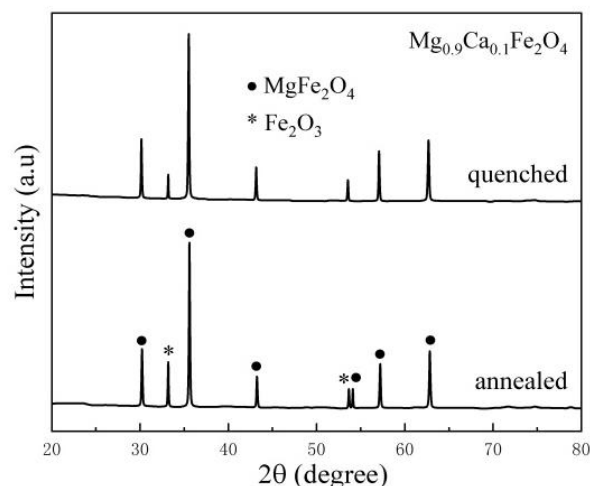
Эндээс 8 цаг тээрэмдэж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээж хамгийн сайн соронзон шинж чанар үзүүлж байна гэж үзсэн болно.

Зураг.4-д 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааныг хэмжсэн хэмжилтийн үр дүнг харуулав.



Зураг 4. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр үүсэх  $50^\circ C$  температурын өөрчлөлт, хугацааны хамаарал.

Ингэхдээ тус хэмжилтэд зураг.1-д үзүүлсэн төхөөрөмжийг ашиглан, колориметрт 2мл ус ба янз бүрийн тээрэмдэж гарган авсан 1гр  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг тус бүр хольж хийн ороомгийн дунд хэсэгт байрлуулан, хувьсах хүчдэл залган хугацаа болон холимогын температурын өөрчлөлтийг тэмдэглэж авна. Зурагт гаднын хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээж дулаан ялгарч, усны температур  $30^\circ C - 80^\circ C$  болоход зарцуулсан хугацаа  $\Delta t$  -ээр дулаан ялгарах шинж чанарыг харьцуулан үзүүлэв. Эндээс үзэхэд 8 цаг тээрэмдсэн дээжийн дулаан ялгаруулах чанар хамгийн сайн буюу  $\Delta T = 50^\circ C$  үед зарцуулах хугацаа хамгийн богино  $\Delta t = 127.6$  с байна.



Зураг 5.  $1100^\circ C$ -ээс аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн рентген дифракцын спектр.

Соронзон хэмжилтийн үр дүн болон хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах чанар

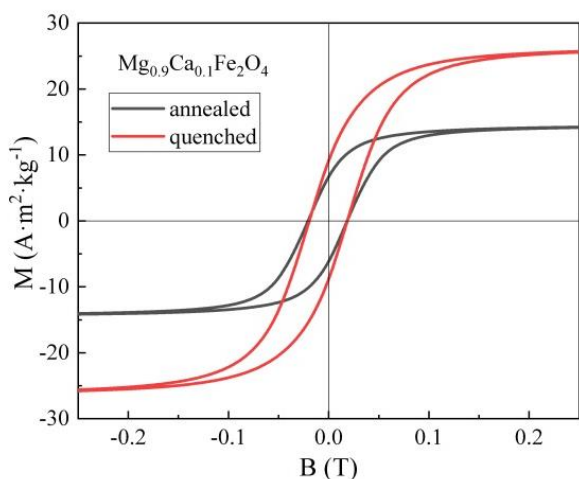
зэргийг үндэслэн 8 цаг тээрэмдэж гарган авах горимыг  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг гарган авах хамгийн горим гэж үзэн дараагийн туршилтад ашиглах дээжүүдийг энэ горимоор гарган авч дулааны боловсруулалтаас хамааруулан судалсан болно.

Зураг.5-д  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг  $1100^\circ\text{C}$  шатаан боловсруулж аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан дээжийн рентген дифракцын спектрийг үзүүлэв.

Тус зургаас үзэхэд огцом хөргөсөн дээжийн хувьд аяндаа хөрсөн дээжтэй харьцуулахад үндсэн бүтэц хувиралтгүй, харин  $Fe_2O_3$ -ийн нөлөө пикийн эрчим суларсан байна. Үүний гол шалтгаан нь өндөр температурт үндсэн фаз нэмэгдсэнээс болж байна.

Хүснэгт 2.  $1100^\circ\text{C}$ -ээс аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн нэгдлийн соронзон хэмжилтийн утгууд.

$Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$	Аяндаа хөргөсөн	Огцом хөргөсөн
$M_s$ ( $\text{Am}^2/\text{kg}$ )	14.22	25.70
$M_r$ ( $\text{Am}^2/\text{kg}$ )	7.68	10.16
$H_c$ (Oe)	192	192

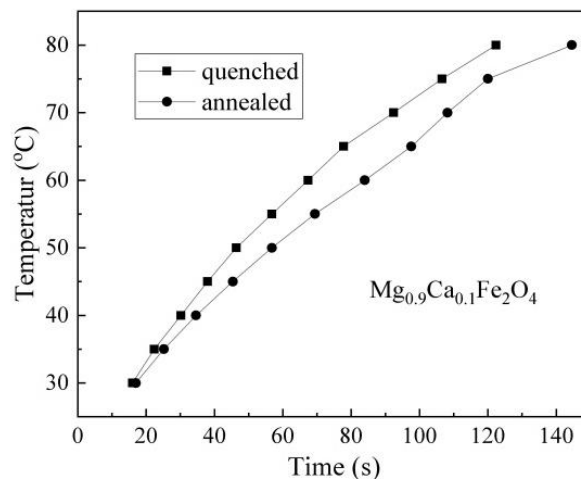


Зураг 6.  $1100^\circ\text{C}$ -ээс аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн тасалгааны температур дэх соронзон гистарозисын муруй.

Зураг 6-д  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  нэгдлийн аяндаа ба огцом хөргөлтийн дараах соронзон гистарозисын муруйг үзүүлэв. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд огцом хөргөлтөөр гарган авсан дээжийн ханалтын соронзон момент ба үлдэгдэл соронзон момент хамгийн өндөр буюу  $M_s = 25.7 \text{ Am}^2/\text{kg}$ ,  $M_r = 10.16 \text{ Am}^2/\text{kg}$  байна. Энэ нь өндөр температурт шатаасны үр дүнд дээжийн

кристалл тор нь томорч,  $Mg^{2+}$  ба  $Ca^{2+}$  нь шпинелийн А байранд сууж,  $Fe^{3+}$  нь В байранд сууснаас болсон гэж үзэж байна. Хүснэгт.2-д аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан дээжүүдийн соронзон шинж чанарын хэмжилтийн утгыг үзүүлэв.

Зураг.7-д аяндаа болон огцом хөргөж замаар гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааны шинж чанарыг үзүүлэв.



Зураг 7. Аяндаа болон огцом хөргөж замаар гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийн хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр үүсэх температур, хугацааны хамаарал.

Энд хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгарах дулааны шинж чанарыг дээж усны холимогын температурын өөрчлөлт, хугацааны хамаарлаар илэрхийлэв. Эндээс үзэхэд холимогын температурыг  $30^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$  болоход огцом хөргөж замаар гарган авсан дээжийн хувьд  $106.4$  секунд байгаа бол аяндаа хөргөж замаар гарган авсан дээжийн хувьд  $122.4$  секунд байна. Тодорхой температурын өөрчлөлтөд хүрэх хугацаа богино байх тусам түүний дулаан ялгаруулах чадал өндөр байна гэсэн үг юм. Үүний гол шалтгаан нь ханалтын соронзон момент ба үлдэгдэл соронзон моментын хэмжээтэй холбоотой. Энэ нь дээжийн ханалтын соронзон момент ба үлдэгдэл соронзон моментын хэмжээ нэмэгдэх тусам хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааны хэмжээ нэмэгдэх болохыг харуулж байна. Дээж дэх соронзон мөхлөгүүдийн диаметр нь микрометрийн түвшинд байвал хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулаан нь соронзон

гистерозисын муруй шугамын хүрээлсэн талбайтай шууд хамааралтай байна.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

1. Хатуу төлөвийн урвалын аргаар  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг гарган авахад бөмбөгөн тээрэмд 8 цаг тээрэмдэх нь соронзон шинж чанарын хувьд хамгийн сайн үр дүнтэй байгааг үзүүлэв.
2. 8 цаг тээрэмдэх гарган авсан  $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$  дээжийг  $1100^{\circ}C$ -д шатаан боловсруулж хүйтэн усанд дүрж огцом хөргөх нь түүний соронзон шинж чанарыг сайжруулж, хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааны шинж чанарыг сайжруулж байгааг үзүүлэв.

#### ТАЛАРХАЛ

Дээж бэлтгэх болон бүх хэмжилт туршилт нөхцөлөөр хангасан Өвөр Монголын Багшийн Их Сургуулийн функционал материалын, физик-химийн төв лабораторийн хамт олонд талархал илэрхийлж байна. МУИС-ийн санхүүжилттэй P2018-3612 тоот өндөр түвшиний судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

#### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] D. Sangaa, B. Khongorzul, E. Uyanga, N. Jargalan, N. Tsogbadrakh, H. Hirazawa, *Solid State Phenomena*, 271 (2018) 51.
- [2] H. Hirazawa, Y. Ito, D. Sangaa, N. Tsogbadrakh, H. Aono, T. Naohara, *AIP Conference Proceedings*, 1763, (2016) 020009.
- [3] S. Nomura, S. Mukasa, T. Miyoshi, N. Okabe, T. Maehara, H. Aono, H. Kikkawa, K. Satou, S. Yumi and Y. Watanabe, *Journal of Mater Science*. 41 (2006) 2989.
- [4] E. Uyanga, D. Sangaa, H. Hirazawa, N. Tsogbadrakh, N. Jargalan, I. A. Bobrikov, A. M. Balagurov, *Journal of Molecular Structure*, 1160 (2018) 447.
- [5] M. Ma, Y. Wu, J. Zhou, *et al.*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 268(1) (2004) 33.
- [6] I. Shinfuku Nomura, Shinobu Mukasa, Hiroshi Yamasaki, *et al.*, *Heat Transfer Engineering*, 28(12) (2007) 1017.
- [7] Y. X. Yang, Y. C. Liu, M. Zhao, H. M. Yuan, P. P. Yao, Y. Huang, C. Y. Nie, *Chemical*

*Journal of Chinese Universities*, 38 (2017) 1709.

- [8] H. Aono, H. Hirazawa, T. Ochi, T. Naohara, K. Mori, Y. Hattori, T. Maehara, H. Kikkawa and Y. Watanabe, *Chemistry Letters*, 34 (2005) 482.
- [9] H. Hirazawa, S. Kusamoto, H. Aono, T. Naohara, K. Mori, Y. Hattori, T. Maehara and Y. Watanabe, *Journal of Alloys and Compounds*, 461 (2008) 467.
- [10] Hirazawa H , Kusamoto S , Aono H , Naohara T , Mori K , Hattori Y , Maehara T , Watanabe Y. *Journal of Alloys and Compounds*, 2008, 461(1-2):0-473.