สนามแม่เหล็กภายในของอิตเทรียมไอร์ออนการ์เนต

นางสาว วรวรรณ ตันติวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-578-228-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016903
i17865938X

Internal Magnetic Fields in Yttrium Iron Garnet

Miss Worawan Tontiwattana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-578-228-9

Thesis Title Internal Magnetic Fields in Yttrium Iron Garnet

By Miss Worawan Tontiwattana

Department Physics

Thesis Advisor Associate Professor Thamrong Methasiri, F.D.

Thesis Co-advisor Professor I-Ming Tang, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

..... Dean of Graduate School

(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Assistant Professor Somphong Chatraphorn, M.Sc.)

..... Thesis Advisor

(Associate Professor Thamrong Methasiri, F.D.)

..... Thesis Co-advisor

(Professor I-Ming Tang, Ph.D.)

..... Member

(Assistant Professor Kajornyod Yoodee, Ph.D.)

..... Member

(Assistant Professor Mayuree Netnapit, Ph.D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วรวรรณ ตันติวัฒน์: สนามแม่เหล็กภายในของอิตเทรียมไอร์ออนการ์เนต (Internal Magnetic Fields in Yttrium Iron Garnet) อ.ที่ปรึกษา:รศ.ดร.ธำรง เมธาศิริ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : Professor I - Ming Tang, Ph.D., 77 หน้า

ISBN 974-578-228-9

วัดสนามแม่เหล็กภายในของ เฟร์ริแมกเนติกอิตเทรียมไอร์ออนการ์เนต โดยวิธีมอสบาวเออร์สเปกโตรสโกปี สารตัวอย่างอิตเทรียมไอร์ออนการ์เนตซึ่งเตรียมโดยปฏิกิริยาเคมีเชิงของแข็งระหว่างอิตเทรียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยการเผาที่อุณหภูมิ 1380 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารที่ได้บดเป็นผงแล้วอัดเป็นเม็ดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ศึกษาโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ โดยใช้วิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ การวัดสเปกตรัมของอิตเทรียมไอร์ออนการ์เนต โดยวิธีมอสบาวเออร์สเปกโตรสโกปี ได้จำนวนเส้น 6 เส้น 2 ชุด ซึ่งเกิดจากการแยกของสนามแม่เหล็กภายในของนิวเคลียสเหล็ก (Fe^{3+}) ที่อยู่ ณ ตำแหน่ง a และ d ในโครงสร้างของการ์เนต การวัดครั้งนี้ไม่สามารถแยกให้เห็นความแตกต่างของตำแหน่ง a ในโครงสร้างผลึกได้ และ ผลการทดลองวัดได้ค่าของ การเลื่อนไอโซเมอร์เชิงเคมีของตำแหน่ง a และ d เท่ากับ 0.25 มิลลิเมตรต่อวินาที และ 0.12 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กอย่างละเอียด มีค่าเป็น 485 กิโลเออร์สเตด และ 497 กิโลเออร์สเตด ตามลำดับ

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

WORAWAN TONTIWATTANA : INTERNAL MAGANETIG FIELDS IN YTTRIUM IRON GARNET. THESES ADVISOR : ASSO: PROF.THAMRONG METHASIRI, F.D. THESIS CO-ADVISOR : PROF. I - MING TANG,Ph.D. 77pp. ISBN 974-578-228-9

The internal hyperfine field of a ferrimagnetic yttrium iron garnet, $Y_3Fe_5O_{12}$, is determine using Mössbauer spcetroscopy. The yttrium iron garnet specimens were prepared by the solid chemical reaction of ultra pure Y_2O_3 and Fe_2O_3 oxides heated to 1380° C for two hours. The reacted powders were then pressed into pellets which were sintered at 1500° C for twenty four hours. The crystal structure of the ceramics was determined by X-ray diffraction studies. The Fe^{57} Mössbauer spectra for the yttrium iron garnet appeared to consist of two sextets, due to hyperfine field splittings of the Fe^{3+} nuclides located on the 'a' and 'd' sites in the garnet structure. Our measurements did not have the resolution which permitted the differentiation of the different types of 'a' sites in the garnet structure. The chemical isomer shifts at the 'a' and 'd' sites were found to be 0.25 mm/s and 0.12 mm/s, respectively, while the hyperfine fields at the two sites were found to be 485 kOe and 397 kOe.

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา ๒๕๓๓ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ธำรง เมธาสิริ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

Acknowledgements

The author wishes to express her appreciation to Dr. Thamrong Methasiri and Dr.I-Ming Tang for theirs advice, guidance, encouragement given throughout the course of this investigation, assistance in reading and printing the manuscript and correcting the English. The author also wishes to thank for Miss Kalaya Eaiprasertsak for her advice in preparation the samples.

She would like to express her sincere gratitude to Dr.Wasont Pongsapich who gave permission for the use of the X-ray diffractometer, Mr.Prasert Kheawpimpa who gave advice and valuable discussion concerning the X-ray experimental procedure.

Finally, appreciation is extended to my friends who help me to work, and Mahidol University for the use of the Mössbauer spectrometer and preparation of samples at High Technology Laboratory, and give thanks for Mr.and Mrs. Srisuwankul and my parents for their assistance.

CONTENT

		PAGE
Abstract		iv
Acknowledgements		vi
List of Tables		ix
List of Pictures		x
CHAPTER I	Introduction	1
	1.1 Diamagnetism	3
	1.2 Paramagnetism	4
	1.3 Ferromagnetism	5
	1.4 Ferrimagnetism	7
	1.5 Antiferromagnetism	8
CHAPTER II	Yttrium Iron Garnet	12
	2.1 Jewel Garnets	12
	2.2 Ferrimagnetic Garnets	13
	2.3 Fabrication of $Y_3Fe_5O_{12}$	16
	2.3.1 Polycrystalline specimens	16
	2.3.2 Single Crystal Specimens	19
	2.4 Ferrimagnetism of the Yttrium Iron - Garnets	19
	2.5 Anisotropy	22
	2.6 Substituted Yttrium Iron Garnets	22
CHAPTER III	Some Experimental Results	23
	3.1 Fabrication of Yttrium Iron Garnets	23

3.2 X-Ray Powder Diffraction Study 27

CHAPTER IV Mössbauer Spectroscopy 33

4.1 Introduction 33

4.2 Mössbauer Effect 34

4.3 Mössbauer Spectra 40

4.3.1 Isomer Shift 41

4.3.2 Electric Quadrupole Splitting ... 44

4.3.3 Magnetic Hyperfine Interaction... 48

CHAPTER V More Experimental Results 52

5.1 Spectra of Fe^{57}..... 52

5.2 Fe^{57} Mössbauer Spectra for Yttrium - Iron Garnets 56

5.3 Description of Mössbauer Spectrometer Used in This Study 57

5.4 Experimental Procedure 62

5.5 Results 62

CHAPTER VI Summary & Future Work 66

REFERENCES 72

APPENDIX A 75

APPENDIX B 76

VITA 77

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
2.1	a). Nearest-neighbour Interionic Distances in Yttrium Iron Garnet	17
	b). Interionic Angles in Yttrium Iron Garnet	17
3.1	Data File for Yttrium Iron Garnet	28
3.2	The position and relative intensities of the lines appearing in Figure 3.6.....	32
5.1	Information Obtained From Analysis of the Spectra for YIG's.....	57
5.2	Isomer Shift and Internal Magnetic Field of the Yttrium Iron Garnets Studied	63

LIST OE PICTURES

PICTURE		PAGE
1.1	Diamagnetic behavior of **M** vs H	3
1.2	Paramagnetism a. The arrangement of the magnetic moments in the absence of the field. b. Plot of **M** vs H. c. Dependence of $1/\chi$ on the temperature.....	4
1.3	Ferromagnetism. a. Alignment of the magnetic moments in the absence of an applied field. b. Temperature dependence of $1/\chi$	6
1.4	Ferrimagnetism. a. The arrangement of the spins in the absence of the magnetic field. b. Temperature dependence of the inverse susceptibility.....	8
1.5	a. The arrangement of the spins in an antiferromagnetic material. b. The inverse susceptibility versus the temperature of a typical antiferromagnetic material.....	9
2.1	Arrangement of the cations in {c}, [a] and (d) sites in four octants of the garnet unit cell.....	13
2.2	Coordinate of the {c}, [a] and (d) sites.....	14
2.3	Variation of the spontaneous magnetic moment with temperature for $Gd_3Fe_5O_{12}$ (GdIG) and $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) in Bohr magneton per formular unit.....	20
2.4	The $1/\chi$ vs T curve of ferrimagnetism.....	21
3.1	Lindberg Crucible Type Furnace.....	24
3.2	Press.....	26

3.3 Microstructure of yttrium iron garnet sintered at 1450°C for twenty four hours. Magnification 1000X using a Nikon Metallurgical Microscope (Mahidol University)..... 27

3.4 X-ray diffractometer of the Geology Department..... 28

3.5 X-ray diffraction pattern of yttrium iron garnet and the results of a computer identication of the pattern. X-ray diffraction of the Scientific and Technological Research Equipment Centre (Chulalongkorn University)..... 30

3.6 The X-ray diffraction pattern of our yttrium iron garnet. 31

4.1 The resonannce overlap for free atom nuclear resonance is small and is shown shaded in black..... 35

4.2 The Lorentzian energy distribution of the source recoilless radiation..... 36

4.3 The energy and momentum in a gamma emission process..... 37

4.4 The statistical energy distribution of the emitted γ-ray showing the interrelationship of E, E_R ,and E_D.... 39

4.5 Typical energy level schemes and observed spectra for $3/2 \longrightarrow 1/2$ and $5/2 \longrightarrow 7/2$ transition with quadrupole hyperfine interactions..... 47

4.6 Magnetic splitting for a $3/2 \longrightarrow 1/2$ transition. The relative inversion of the 3/2 and 1/2 multiplets signifies a change in sign of the nuclear magnetic momenet. Only transitions for a change in m of ± 1 are shown..... 49

5.1 The γ-decay scheme of Co^{57} showing the 14.41 keV and 136.32 kev transitions..... 52

5.2 Isomer shift (mm/sec) relative to metallic iron..... 53

5.3 Magnetic splitting of nuclear levels in Fe^{57}..... 54

5.4 Reference splitting useful for calibration..... 55

5.5 Mössbauer spectra recorded at 4.0 K and 300 K on a polycrystalline yttrium iron garnets $Y_3Fe_5O_{12}$..... 56

5.6 Detector..... 58

5.7 Mössbauer Drive System 'Model 351'..... 59

5.8 Mössbauer Velocity Transducer MA 250..... 59

5.9 Multichannel Analyzer..... 60

5.10 TSCA and Multichannel Data Processor..... 60

5.11 Block diagram of Mössbauer spectrometer..... 61

5.12 The Mössbauer spectra for iron foil..... 64

5.13 The Mössbauer spectra for YIG..... 65

6.1 The Mössbauer spectra for $Y_3Al_{.5}Fe_{4.5}O_{12}$..... 68

6.2 The Mössbauer spectra for $Y_3Al_{1.5}Fe_{3.5}O_{12}$..... 69

6.3 The X-ray diffraction pattern for $Y_3Al_{.5}Fe_{4.5}O_{12}$..... 70

6.4 The X-ray diffraction pattern for $Y_3Al_{1.5}Fe_{3.5}O_{12}$..... 71