



UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA

**KESAN GANTIAN KECIL KATION CO_2^+ , AL_3^+ , Ti_4^+ DAN Sn_4^+ KE
ATAS SIFAT MAGNET UTAMA FERIT $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$**

NURHIDAYATY BINTI MOKHTAR

FSAS 2001 19

**KESAN GANTIAN KECIL KATION Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} DAN Sn^{4+} KE ATAS
SIFAT MAGNET UTAMA FERIT $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$**

Oleh

NURHIDAYATY BINTI MOKHTAR

**Tesis ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Keperluan untuk Ijazah Master
Sains di Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia**

Mei 2001



Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia
sebagai memenuhi keperluan untuk Ijazah Master Sains

**KESAN GANTIAN KECIL KATION Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} DAN Sn^{4+} KE ATAS
SIFAT MAGNET UTAMA FERIT $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$**

Oleh

NURHIDAYATY BINTI MOKHTAR

Mei 2001

Pengerusi : Profesor Madya Mansor bin Hashim, Ph.D.

Fakulti : Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar

Penggantian kation logam ke dalam struktur kekisi hablur bahan ferit memainkan peranan yang besar dalam mengubah sifat-sifat magnet bahan tersebut. Tujuan utama penyelidikan yang telah dijalankan ini adalah untuk mengenalpasti jenis kation yang paling sesuai, daripada empat jenis kation iaitu Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} dan Sn^{4+} , untuk meningkatkan kestabilan ketelapan awal terhadap perubahan suhu bagi ferit berteraskan NiCuZn.

Empat siri sampel dalam bentuk toroid telah disediakan, masing-masingnya melalui penggantian ion Ni^{2+} dalam ferit $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan satu daripada kation di atas dalam julat 0.5 % sehingga 2.5 % mol. Sampel-sampel disediakan melalui kaedah yang berasaskan tindakbalas keadaan pepejal campuran serbuk oksida dengan saiz purata zarah $\sim 1 \mu\text{m}$. Di samping ketelapan awal, kesan ke atas faktor kehilangan dan parameter-parameter gelung histeresis telah turut dikaji untuk melihat kesan menyeluruh penggantian ke atas

sifat-sifat magnet utama bahan. Hasil kajian mendapati bahawa ion Co^{2+} dan ion Ti^{4+} berjaya mengurangkan pengaruh suhu dan juga pengaruh frekuensi ke atas ketelapan awal, di samping melebarkan julat frekuensi operasi. Namun begitu, kedua-dua kation telah menurunkan suhu Curie dan penurunannya adalah begitu ketara oleh ion Ti^{4+} .

Abstract of the thesis presented to the Senate of Universiti Putra Malaysia in fulfilment of requirement for the degree of Master of Science

**THE EFFECT OF SMALL SUBSTITUTIONS OF Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+}
AND Sn^{4+} CATIONS ON THE MAIN MAGNETIC PROPERTIES OF
 $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$**

By

NURHIDAYATY BINTI MOKHTAR

Mei 2001

Chairman : Associate Professor Mansor bin Hashim, Ph.D.

Faculty : Faculty of Science and Environmental Studies

The substitution of cations into the crystal lattice structure of ferrite materials plays an important role in influencing their magnetic properties. The main intention of this research work was to identify the best cation, among four of the following cations, Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} and Sn^{4+} , that could increase the initial permeability stability against temperature variation for NiCuZn-based ferrite.

Four series of samples in the form of toroids were prepared, each by substituting one of the above cations for Ni^{2+} ions in $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$ in the range from 0.5 % to 2.5 % of mole. Samples were prepared through solid state reaction of mixed oxides powder with an average particle size $\sim 1 \mu\text{m}$. Besides the initial permeability, the effect on the loss factor and the hysteresis loop's parameters were also investigated in order to see the overall effect of the substitution on the main magnetic properties of the materials. It was found that



the Co^{2+} and Ti^{4+} ions managed to decrease the influence of temperature and frequency on the initial permeability and broaden the operational frequency range. But the Curie temperature was decreased by both cations, drastically so by Ti^{4+} ions.

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur saya kepada Allah s.w.t. atas limpah dan kurniaNya yang telah menganugerahkan segala kekuatan kepada hambaNya untuk menyiapkan tesis ini.

Pertama sekali, saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan ribuan terima kasih kepada Profesor Madya Dr. Mansor bin Hashim, selaku pengerusi Ahli Jawatankuasa penyeliaan tesis, di atas segala nasihat, tunjuk ajar dan sokongan yang telah beliau curahkan di sepanjang pengajian saya. Ribuan terima kasih juga saya ucapkan kepada Profesor Dr. Abdul Halim bin Shaari dan Profesor Dr. Kaida bin Khalid di atas cadangan serta bimbingan yang amat berharga yang telah mereka berikan dalam usaha saya menyiapkan penulisan tesis ini.

Akhir sekali, saya doakan semoga segala bentuk sumbangan yang telah saya terima dari pelbagai pihak akan diberi ganjaran oleh Allah s.w.t.

KANDUNGAN

Muka surat

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
PENGHARGAAN	vi
LEMBARAN PENGESAHAN	vii
PENGAKUAN	ix
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI RAJAH	xiii
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB	
I PENGENALAN	1
Kegunaan Bahan Ferit	1
Kepentingan Kajian	2
Tujuan Kajian	3
II SOROTAN LITERATUR	6
Pendahuluan	6
Kajian-kajian Lepas	7
III TEORI	13
Pendahuluan	13
Aspek Kimia dan Fizikal Ferit Spinel	14
Keferimagnetan	18
Proses Pemagnetan Bahan Ferit	23
Ketelapan Magnet dan Faktor Kehilangan	25
Pengaruh Suhu Ke atas Ketelapan	27
Peranan Kation Logam	28
Aspek Mikrostruktur	31
IV KAEDAH EKSPERIMEN	32
Pendahuluan	32
Pemilihan Bahan	33
Penyediaan Sampel	34
Bahan Mentah	35
Penimbangan	35
Pencampuran, Penurasan dan Pengeringan	36
Prasinteran	36
Pengisaran dan Penapisan	37
Penambahan Bahan Pelekat serta Bahan Pelincir dan Pembentukan Toroid	37
Pensinteran	38



Pencirian Sampel	39
Pengaruh Suhu Ke atas Ketelapan Awal dan Faktor Kehilangan	39
Spektrum Ketelapan Awal dan Spektrum Faktor Kehilangan	41
Parameter Gelung Histeresis	42
Ralat Pengukuran	42
V KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	43
Pendahuluan	43
Pengaruh Suhu Ke atas Sifat-sifat Magnet	44
Kesan Penggantian oleh Ion Co^{2+}	44
Kesan Penggantian oleh Ion Al^{3+}	53
Kesan Penggantian oleh Ion Ti^{4+}	58
Kesan Penggantian oleh Ion Sn^{4+}	63
Spektrum Ketelapan Awal dan Spektrum Faktor Kehilangan	67
Parameter Gelung Histeresis	77
Perbandingan Garislengkung μ_i -T bagi Sampel-sampel R, C3, A3, T3 dan S3	84
VI KESIMPULAN	85
BIBLIOGRAFI	90
LAMPIRAN	96
VITA	99



SENARAI JADUAL

Jadual		Mukasurat
1	Jumlah ion-ion A, B dan oksigen dalam satu sel unit	17
2	Siri-siri sampel yang dikaji	44
3	Ketelapan awal pada suhu bilik, suhu ketelapan maksimum kedua dan suhu Curie bagi sampel Siri C	45
4	Pekali suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri C	51
5	Ketelapan awal pada $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan suhu Curie bagi sampel Siri A	54
6	Pekali suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri A	56
7	Ketelapan awal pada $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan suhu Curie bagi sampel Siri T	59
8	Pekali suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri T	62
9	Ketelapan awal pada $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan suhu Curie bagi sampel Siri S	64
10	Pekali suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri S	66

SENARAI RAJAH

Rajah		Mukasurat
1	Susunan oktan-oktan dalam satu sel unit	15
2	Kedudukan ion-ion dalam oktan	16
3	Pengisian empat daripada lapan oktan dalam sel unit	16
4	Dinding Bloch	21
5	Gelung histeresis	24
6	Carta alir penyediaan sampel	34
7	Pengukuran perubahan L dan Q terhadap suhu di bawah suhu bilik	41
8	Perubahan ketelapan awal dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri C	45
9	Perubahan faktor kehilangan dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri C	52
10	Perubahan ketelapan awal dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri A	54
11	Perubahan faktor kehilangan dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri A	57
12	Perubahan ketelapan awal dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri T	59
13	Perubahan faktor kehilangan dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri T	62
14	Perubahan ketelapan awal dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri S	64
15	Perubahan faktor kehilangan dengan suhu pada frekuensi 10 kHz bagi sampel Siri S	66
16	Spektrum ketelapan awal bagi sampel Siri C pada suhu bilik	69
17	Spektrum faktor kehilangan bagi sampel Siri C pada suhu bilik	69

18	Spektrum ketelapan awal bagi sampel Siri A pada suhu bilik	72
19	Spektrum faktor kehilangan bagi sampel Siri A pada suhu bilik	72
20	Spektrum ketelapan awal bagi sampel Siri T pada suhu bilik	75
21	Spektrum faktor kehilangan bagi sampel Siri T pada suhu bilik	75
22	Spektrum ketelapan awal bagi sampel Siri S pada suhu bilik	76
23	Spektrum faktor kehilangan bagi sampel Siri S pada suhu bilik	76
24	Perubahan B_s , B_r dan H_c dengan bilangan mol ion Co^{2+}	80
25	Perubahan B_s , B_r dan H_c dengan bilangan mol ion Al^{3+}	80
26	Perubahan B_s , B_r dan H_c dengan bilangan mol ion Ti^{4+}	81
27	Perubahan B_s , B_r dan H_c dengan bilangan mol ion Sn^{4+}	81
28	Perubahan B_s dengan bilangan mol ion gantian bagi semua siri	82
29	Perubahan B_r dengan bilangan mol ion gantian bagi semua siri	83
30	Perubahan H_c dengan bilangan mol ion gantian bagi semua siri	83
31	Pengaruh suhu ke atas ketelapan awal bagi sampel-sampel R, C3, A3, T3 dan S3	84
32	Litar untuk kajian gelung histeresis	96

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

A	luas keratan rentas
B	aruhan medan magnet
B_s	aruhan tepu
B_r	aruhan sisa
C	kapasitans
D_i	diameter dalam
D_o	diameter luar
f	frekuensi
FK	faktor kehilangan (relatif)
H	medan pemagnetan luar
H_c	daya paksa
K_1	pemalar ketakisotropan magnetohabluran yang pertama
k	pemalar perkadaran
L	induktans
M_s	pemagnetan tepu
m	momen magnet per molekul
N	bilangan lilitan
n	bilangan elektron tunggal
PVA	alkohol polivinil
Q	faktor kualiti
R	rintangan
r	jejari

T	suhu
T_c	suhu Curie
T_o	suhu pampasan ketakisotropian
TC	pekali suhu
TF	faktor suhu
δ	sudut fasa
$\tan \delta$	tangen kehilangan
μ	ketelapan magnet
μ_i	ketelapan awal
μ_o	ketelapan vakum
μ'	ketelapan nyata
μ''	ketelapan khayalan

BAB I

PENGENALAN

Kegunaan Bahan Ferit

Bahan ferimagnet, atau ferit adalah satu daripada kumpulan bahan magnet yang penting yang menjadi asas kepada banyak sistem elektrik dan elektronik. Penggunaannya begitu meluas dalam industri telekomunikasi, hiburan elektronik dan komputer digital. Ini adalah kerana ia merupakan bahan seramik daripada campuran oksida logam yang boleh dihasilkan dalam bermacam bentuk, di samping struktur hablur dan komposisi kimianya yang boleh dipelbagaikan untuk menghasilkan ciri-ciri magnet dan elektrik untuk aplikasi tertentu, samada dalam kelas ferit lembut atau kelas ferit keras.

Bahan magnet ferit lembut digunakan dalam aplikasi yang melibatkan perubahan aruhan elektromagnet sebagai reaksi kepada medan pemagnetan yang sentiasa berubah dengan masa seperti transformer dan induktor. Ferit lembut dikategorikan sebagai ferit bukan-mikrogelombang untuk kegunaan pada frekuensi audio hingga 500 MHz (Slick, 1980) dan ferit mikrogelombang untuk frekuensi dari 100 MHz hingga 500 GHz (Nicholas, 1980). Ferit mangan-zink, yang nama komersilnya ialah 'Ferroxcube', digunakan dengan meluas untuk aplikasi sehingga frekuensi 10 MHz manakala pada frekuensi yang lebih tinggi, ferit nikel-zink lebih diutamakan kerana kekonduksiannya yang lebih rendah

(Jiles, 1991). Kedua-dua sebatian ini adalah dua daripada teras ferit yang penting dalam penggunaan yang mengutamakan ketelapan yang tinggi dan kehilangan yang rendah dan merupakan penyumbang besar kepada penghasilan ferit lembut pada masa ini.

Kepentingan Kajian

Kombinasi ciri-ciri magnet yang baik dan kerintangan elektrik yang tinggi telah menjadikan ferit amat sesuai digunakan dalam aplikasi pada frekuensi yang tinggi berbanding dengan ciri-ciri pada magnet logam. Semenjak kemunculan produk ferit komersil yang pertama di sekitar tahun 1945, perkembangannya tertumpu kepada komponen-komponen yang lebih kecil dengan kualiti dan kestabilan yang lebih tinggi (Slick, 1980). Satu daripada aspek penting yang ditekankan dan merupakan cabaran teknikal dalam penghasilan peranti-peranti ferit adalah kemampuan ciri-ciri magnetnya untuk stabil terhadap sebarang perubahan suhu supaya prestasinya sentiasa berada pada tahap yang optimum, terutamanya dalam julat suhu pengoperasian. Contohnya, induktor, transformer dan 'loading coil' amat memerlukan ketelapan dengan kestabilan terhadap suhu yang tinggi beserta dengan kehilangan yang rendah (Slick, 1980).

Perubahan suhu pada komponen-komponen ferit boleh berpunca samada daripada pembebasan haba akibat kehilangan elektromagnet (Hendricks and Amarakoon, 1991; Stijntjes, 1989) dan juga perubahan suhu persekitaran, yang berlaku dengan lebih ketara di negara-negara yang iklimnya berubah-ubah. Jika

kepekaan dan kestabilan sesuatu ciri magnet terhadap suhu, terutamanya ketelapan magnet, tidak diberi perhatian semasa peringkat penyediaan komponen-komponen yang berteraskan bahan ferit, penggunaan komponen-komponen tersebut akan menjadi terlalu terbatas. Sebaliknya, kestabilan suhu yang tinggi akan dapat mewujudkan pasaran yang lebih meluas bagi komponen-komponen itu di seluruh dunia. Perlu diingat bahawa kepekaan ciri-ciri magnet terhadap suhu dan suhu Curie yang wujud di bawah suhu bilik boleh juga dimanfaatkan untuk mencipta pelbagai alat peka-suhu. Oleh itu, latarbelakang pengetahuan tentang kesan turun-naik suhu ke atas sesuatu ciri magnet dan kaedah-kaedah untuk mengawalnya amat diperlukan supaya pemilihan ion-ion semasa formula komposisi dibentuk untuk sesuatu tujuan penggunaan dapat dilakukan dengan lebih tepat.

Tujuan Kajian

Setelah sekian lama penyelidikan ke atas ferit dijalankan, ia masih terus rancak sehingga kini kerana kepentingan teknologinya yang begitu tinggi. Para penyelidik dalam bidang seperti fizik, kimia, kejuruteraan dan seramik terus berusaha meningkatkan kualiti dan mempelbagaikan penggunaan ferit dalam era dunia teknologi maklumat kini, antaranya melalui cara penggantian atau aditif ion ke dalam ferit, yang diketahui boleh memberikan pengaruh yang besar ke atas ciri-ciri magnet, elektrik dan mikrostrukturnya.

Dalam kajian yang dijalankan ini, tumpuan diberikan untuk membuat pencirian ke atas sifat-sifat magnet utama ferit NiCuZn yang banyak digunakan sebagai bahan teras untuk induktor dan transformer. Tujuan utama adalah untuk meneliti perubahan ketelapan awal, μ_i , dan faktor kehilangan, FK, dengan suhu setelah penggantian kecil beberapa jenis kation logam pada amaan yang semakin meningkat dibuat ke atas ferit induk yang mempunyai komposisi yang telah ditetapkan. Di samping itu, kesan penggantian berkenaan ke atas beberapa sifat magnet yang lain turut dikaji untuk mengetahui sejauh mana keberkesannya untuk menghasilkan spesimen dengan kualiti-kualiti yang menarik, atau sebaliknya. Perbincangan ke atas keputusan yang diperolehi adalah berdasarkan perubahan-perubahan yang berlaku ke atas parameter-parameter intrinsik yang mempunyai perkaitan secara langsung dengan parameter-parameter ekstrinsik yang diukur. Kajian ini tidak mengambilkira sebarang perubahan mikrostruktur kerana berpandukan kepada kajian-kajian lepas, umumnya, amaan gantian yang kecil tidak dijangka memberi kesan bermakna terhadap pertumbuhan butir. Mungkin kesan perubahan mikrostruktur masih dapat dilihat pada satu atau dua parameter dalam kes tertentu. Dalam hal ini, perbincangan dibuat dengan merujuk kepada penemuan oleh pengkaji-pengkaji lepas untuk kation gantian yang berkaitan.

Untuk mencapai tujuan di atas, ferit induk dengan komposisi asas $\text{Ni}_{0.25}\text{Cu}_{0.1}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$ telah dipilih. Kation-kation Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} dan Sn^{4+} pula dipilih untuk menggantikan kation Ni^{2+} secara berperingkat sehingga 0.05 mol daripada 2.0 mol formula kimia. Sampel berbentuk toroid disediakan mengikut

teknik penyediaan konvensional di mana, serbuk oksida yang telah dicampurkan sehingga homogen dibakar pada suhu yang tinggi supaya mengalami tindakbalas keadaan pepejal. Kemudian, pengukuran parameter-parameter induktans, L , dan faktor kualiti, Q , sebagai fungsi suhu, T , dan fungsi frekuensi, f , dilakukan ke atas setiap sampel yang telah dihasilkan. Dari situ, analisis dibuat untuk perubahan ketelapan awal dan perubahan faktor kehilangan dengan suhu, pekali suhu bagi ketelapan awal, suhu Curie, spektrum ketelapan awal dan spektrum faktor kehilangan dengan bantuan rumus-rumus yang berkaitan dan graf-graf yang sesuai. Pengukuran untuk memperolehi parameter-parameter gelung histeresis iaitu aruhan tepu, aruhan sisa dan daya paksa juga dilakukan.

BAB II

SOROTAN LITERATUR

Pendahuluan

Kerintangan elektrik yang tinggi yang terdapat pada ferit spinel berbanding dengan bahan-bahan magnet yang lain, di samping kehilangan magnetnya yang rendah, telah menjadikan ferit spinel bahan magnet yang mendapat perhatian meluas dan digunakan dalam banyak aplikasi teknologi. Sifat-sifat magnet, elektrik dan mikrostruktur ferit boleh diubahsuai dengan banyak cara, antara yang penting adalah melalui penggantian separa atau penggantian kecil ion logam dwivalen dengan ion-ion logam lain, penambahan atau pengurangan ion besi trivalen dan juga pendopan, iaitu memasukkan bahan aditif ke dalam sebatian molekulnya.

Untuk mencipta bahan dengan ciri-ciri yang dikehendaki bagi sesuatu aplikasi, komposisi kimia yang tepat perlu ditentukan dan aditif yang sesuai perlu dikenalpasti. Justeru itu, beberapa siri kajian dilakukan untuk melihat sejauh mana keberkesanan sesuatu komposisi dan bahan aditif dan apa pula kesan-kesan sampingan yang mungkin wujud ke atas ciri-ciri lain. Hasil kajian penyelidikan-penyelidik yang telah diterbitkan dalam jurnal-jurnal adalah panduan penting yang wajar dirujuk dalam usaha memperolehi komposisi yang terbaik.

Kajian-kajian Lepas

Kesan aditif CoO ke atas sifat-sifat magnet ferit MnZn telah dikaji oleh beberapa kumpulan penyelidik. Pyun et al. (1985) menumpukan kajian kepada pengaruh aditif tersebut ke atas ketelapan awal, μ_i , serta pergantungan μ_i ke atas suhu, T. Pendopan CoO sehingga 0.5% mol didapati telah mengurangkan ketelapan awal spesimen dan mewujudkan ketelapan maksimum kedua pada garislengkung ketelapan-suhu, pada suhu yang semakin rendah untuk amaun CoO yang lebih banyak. Di samping itu, ketelapan awal juga didapati semakin kurang bergantung kepada suhu dalam julat 0 °C hingga 60 °C. Keputusan sedemikian diperolehi kerana lebihan ion Co^{2+} dalam struktur kekisi hablur ferit menyumbangkan nilai ketakisotropian magnetohabluran, K_1 , yang positif dan telah meningkatkan jumlah K_1 sampel kajian, yang pada asalnya bernilai negatif kepada nilai yang semakin positif. Akibatnya, nilai ketelapan awal menyusut dan dalam masa yang sama, kompensasi ke atas jumlah nilai K_1 turut berlaku dan ini menjadi punca garislengkung ketelapan-suhu mempunyai puncak ketelapan yang kedua. Walau bagaimanapun, dalam kajian mereka itu, spesimen yang didop dengan 0.05% mol CoO telah mempamerkan nilai μ_i yang lebih tinggi serta kurang bergantung kepada suhu berbanding dengan spesimen yang tidak didop. Kesimpulan telah dibuat bahawa keadaan di mana μ_i yang tinggi serta garislengkung μ_i -T yang lebih rata tidak boleh dicapai serentak kecuali titik kompensasi yang sesuai dipilih.

Penyelidikan tentang pengaruh ion Co^{2+} yang telah dilaksanakan oleh Babbar et al. (1992) adalah lebih meluas, iaitu meliputi lebih banyak sifat magnet dan juga sifat elektrik. Siri ferit dengan komposisi $\text{Mn}_{0.6}\text{Zn}_{0.4-y}\text{Co}_y\text{Fe}_2\text{O}_4$ telah disediakan, dengan nilai y ditambah secara berperingkat sebanyak 0.05 dari 0.0 hingga 0.4, manakala mikrostruktur telah dikawal supaya serupa di kalangan sampel-sampel yang dihasilkan. Pemagnetan tepu, M_s , didapati meningkat untuk $y \leq 0.275$ dan menyusut untuk nilai y yang lebih banyak. Perubahan tersebut telah dikaitkan dengan kekuatan relatif interaksi tukarganti AB dan BB dan juga penempatan ion-ion Co^{2+} dalam tapak kekisi struktur hablur ferit. Ketelapan awal pula meningkat untuk $y \leq 0.05$ dan menyusut untuk tambahan y seterusnya, disebabkan jumlah ketakisotropian dalam matriks ferit telah bertambah. Kedua-dua keputusan yang diperolehi itu menunjukkan bahawa nilai maksimum bagi M_s dan μ_i tidak mungkin diperolehi serentak. Daya paksa pula menunjukkan aliran perubahan yang bertentangan daripada yang dipamerkan oleh ketelapan awal, di mana, nilainya adalah minimum apabila $y = 0.05$. Suhu Curie terus naik dengan meningkatnya nilai y , kerana bilangan ion magnet dengan momen magnet yang lebih tinggi telah bertambah banyak dan keadaan ini memerlukan tenaga haba yang lebih tinggi untuk membubarkan penjajaran spin. Sebaliknya, kerintangan a.t. pula semakin rendah kerana sedikit ion Fe^{2+} telah terhasil daripada tindakbalas $\text{Co}^{2+} + \text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Co}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ dan dengan itu menambah loncatan elektron antara Fe^{2+} dan Fe^{3+} dan antara Co^{2+} dan Co^{3+} . Pada keseluruhannya, keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa sifat-sifat magnet dapat ditingkatkan untuk amoun Co^{2+} yang kecil sahaja, iaitu lebih kurang 0.05 mol. Hahn (1991) pula mendapati apabila Co^{2+} menggantikan Ni^{2+} dalam