เฟอร์ไรท์ (FERRITES)

นางสาวกฤษณา แจ้งกมลกุลชัย
รศ. ปรีดา พิมพ์ขาวขำ
หัวหน้าภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ferrites เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง มีบทบาทในงานด้านต่าง ๆ มากขึ้น Manganese-Zinc Ferrites เป็นชนิดที่มีปริมาณการใช้มากที่สุด

Ferrites ไม่ได้เป็นวัสดุใหม่ เป็นสิ่งที่ใช้กันอยู่แล้ว และทวีความสำคัญเพิ่มขึ้น เพราะว่าสามารถปรับ ferrites ให้มีคุณสมบัติตามงานที่ต้องการนำไปใช้ เช่น switchmode power supply (SMPS), inverters, converters power supply เหล่านี้ มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความถี่มากกว่า 60 Hz มีขนาดเล็กกว่า เบากว่า ทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า SWPS ใช้ได้ทั้งไฟสลับ หรือไฟตรงจาก battery ใช้งานได้ทั้งใน computer, microprocessor และอุปกรณ์ต่าง ๆ ความตื่นตัวในตลาดอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้ ferrite มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานทางด้านโทรคมนาคมไม่เคยตื่นตัวขนาดนี้มาก่อน การเติบโตอย่างช้า ๆ ของตลาดระดับครัวเรือน ทำให้การใช้โทรศัพท์ถูกจำกัดลง core memories ถูกแทนที่ด้วย semiconductor memories หรือด้วยหน่วยความจำแม่เหล็ก หน่วยความจำแม่เหล็กตัวใหม่ ๆ ใช้ ferrite กันอย่างกว้างขวาง

Fe_3O_4 ($FeO \cdot Fe_2O_3$) เป็นสารแม่เหล็กตามธรรมชาติ แม่เหล็กทำมาจากวัสดุนี้ เมื่อต้องการนำไปใช้งานอื่น ๆ เช่น ทำเข็มทิศ ก็จะทำให้เป็นแม่เหล็ก โดยถูบนสารซึ่งเป็นแม่เหล็ก

ชาวญี่ปุ่นเป็นคนแรก ทำการศึกษาค้นคว้าความเป็นแม่เหล็กของ ferrites ที่สังเคราะห์ได้ และเพื่อนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม ทำการวิจัย ณ ห้องทดลองของ Phillips Research ใน Holland

Ferrites เป็น solid solution ของ mixed oxides โดยมี Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบ Garnet มี Fe_2O_3 และมีโครงสร้างผลึกหลาย ๆ แบบ จัดเป็นพวกเดียวกับ ferrites และมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหมือนกัน Fe_2O_3 เป็น Single oxide ก็จัดรวมอยู่ในพวก ferrites ด้วยเช่นกัน

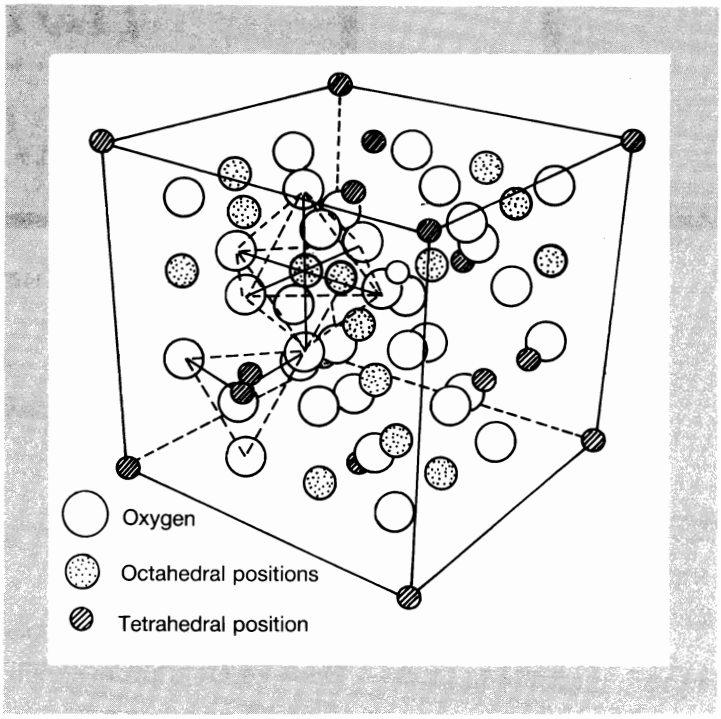
โครงสร้างของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก มี 3 รูปแบบ

I. Spinel ferrites เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุด ในพวก ferrimagnetic oxides มีสูตรทั่วไปคือ AB_2O_4 มีรูปร่างเป็น cubic มี 8 formula units ต่อ 1 Unitcell มีทั้ง normal spinel และ inverse Spinel พวกที่เป็นแม่เหล็กโดยมากเป็น inverse spinel

normal spinel พวกที่เป็น divalent cations ทั้งหมด จะอยู่ใน tetrahedral sites และ trivalent ions ทั้งหมดจะอยู่ใน octahedral sites inverse spinel ครึ่งหนึ่งของ trivalent ions อยู่ใน tetrahedral sites อีกครึ่งหนึ่งของ trivalent จะรวมกับ divalent cations ทั้งหมดบรรจุอยู่ใน octahedral sites การกระจายของ cations ระหว่าง tetra & octahedral sites ขึ้นกับ preferrence ของ divalent cation การแทนที่ของพวก nonmagnetic ions (Zn^{2+}, Cd^{2+}, In^{2+}) ถ้าเข้าไปใน tetrahedral sites

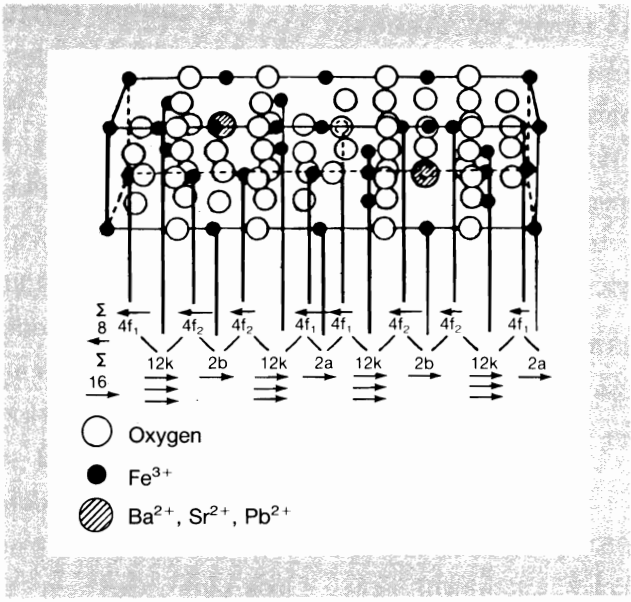
จะเพิ่ม saturation magnetization ในขณะที่พวก non-magnetic ions (Al^{3+}, Sc^{3+}, Ti^{3+}, Cr^{3+}, Ga^{3+}) ถ้าเข้าไปบรรจุใน octahedral sites จะไปลดค่า saturation moment

โครงสร้างแบบ spinel จะเกิด electron transfer ได้ง่ายทำให้ความต้านทานต่ำ จึงใส่ Mn หรือ Co ลงไปเพื่อแก้ปัญหาข้อนี้



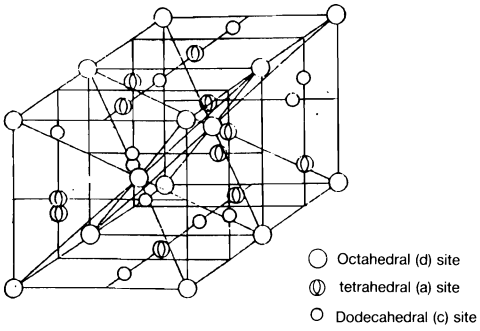
Perspective drawing of crystal model of spinel unit cell.

II. Hexagonal ferrites พวกนี้ magneto-plumbite material เป็นตัวสำคัญ magnetoplum-bites หรือ M-type hexagonal ferrites สูตรทั่วไปคือ $MeFe_{12}O_{19}$ โดย Me มักจะเป็น Ba^{2+}, Sr^{2+} หรือ Pb^{2+} เมื่อเกิดการแทนที่ Fe^{3+} ด้วย trivalent ion และ divalent transition metal ion จะทำให้ Curie temperature ลดต่ำลง



Perspective drawing of crystal model of magnetoplumbite unit

III. Garnets มีโครงสร้างซับซ้อนที่สุด 1 Units cell มี 8 สูตรทั่วไป $N_3Fe_5O_{12}$, N แทน trivalent rare -earth รวมทั้ง Yttrium และ Lanthanum มี interstitial sites 3 ชนิด form ขึ้นจาก cubic packing ของ O^{2-} ion, ferric ions บรรจุใน octahedral และ tetrahedral sites และ trivalent rare-earth บรรจุใน dodecahederal sites การแทนที่จะทำให้ Curie Temperature ต่ำลง ใน garnet จะมีความต้านทานไฟฟ้าสูง



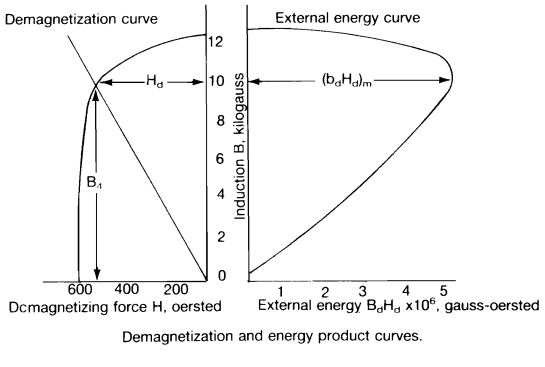
Array of cations in two octants of a garnet tell.

ชนิดของ ferrites

โดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ soft และ hard

soft ferrites ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย แต่จะสูญเสียความเป็นแม่เหล็ก เมื่อเอาสนามแม่เหล็กออก มี permeability สูง มี hystersis loop ที่แคบ ชี้ให้เห็นว่า coercive force ต่ำ บางครั้งเรียกว่า low-energy materials, soft ferrites ใช้ในงานทั่วไป คือ พวกที่มีโครงสร้างเป็น spinel แนวแกนที่ prefer คือ แนวของ cube diagonals แต่เนื่องจากเป็น soft materials, preference ไม่ว่าจะในทิศทางใดมีผลน้อยมาก ความถี่ของสนามพลังงาน ทำให้ magnetization เกิดการกลับไปกลับมา soft ferrites ที่ใช้มาก คือ MnZn ferrite, Ni-Zn และ Mg-Mn ferrite และบางตัวซึ่งไม่ได้เป็นแม่เหล็ก เช่น $ZnFe_2O_4$

Hard ferrites เป็นพวกที่เป็นแม่เหล็ก แม้ว่าจะเอาสนามแม่เหล็กออก พวกนี้จะมี coercive forces สูง เนื่องจากความแข็งแรงของ anisotropy ที่พบใน hexagonal ferrites และ ceramic magnet ที่มีขนาดอนุภาคเล็กๆ สัดส่วนของ hysteresis curve ระหว่าง B_r และ H_c เรียกว่า Demagnetizing curve และจาก curve นี้ ผลของ B_dH_d จะชี้ให้เห็นถึงปริมาณของ magnetic energy ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ที่วัสดุจะสามารถเก็บไว้ได้ โดยสนามแม่เหล็กจากภายนอก โดยจะใช้ค่า (B_dH_d) max. เป็นตัวเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของวัสดุที่เป็น permannet magnet



Demagnetization and energy product curves.

ตัวอย่างของ Hard ferrites เช่น Barium ferrite, Strontium ferrite พวกนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบ magnetoplumbile

Hard ferrites ที่ใช้ทั่ว ๆ ไป คือ Ba และ Sr มีสูตร $MeO.6Fe_2O_3$ หรือ $MeFe_{12}O_{19}$ โดย Me คือ Ba หรือ Sr วัตถุดิบที่ใช้คือ Fe_2O_3 และ Barium หรือ Strontium carbonate ผสมเข้าด้วยกันแบบเปียก hard ferrites ที่ดีที่สุด จะอัดภายใต้สนามแม่เหล็ก ทำให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคแม่เหล็กอยู่ในทิศทางเดียวกันนำไปเผาและทำให้เป็นแม่เหล็ก

Ferrites ที่เป็น soft magnetic มีสูตร empirical $MOFe_2O_3$ หรือ MFe_2O_4 โครงสร้างผลึกประกอบด้วย 1 oxide ของพวก divalent กับอีก 1 Fe_2O_3 ดังนั้น เมื่อเริ่มด้วย Fe_2O_3 และทำการ treat อย่างเหมาะสม (อุณหภูมิ, partial pressure ของ O_2) จนได้เป็น ferrite $FeO.Fe_2O_3$ (ซึ่งก็คือ Fe_3O_4 สารแม่เหล็กเดิมที่เคยรู้จักนั่นเอง) กรณีนี้ Fe_2O_3 จะสูญเสีย O_2 ไปในปริมาณที่เหมาะสม ที่จะให้โครงสร้าง divalent ต่อ trivalent เป็น 1:1 เกิดเป็น ferrous ferrite ถ้าทำจาก ferrous กับสารละลาย ferrics salt และเติมด่าง (NaOH) เล็กน้อย จะเกิดตะกอนสีดำซึ่งเข้าใจว่าเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดของแม่เหล็ก แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดแม่เหล็กขึ้น ตามกลไกธรรมชาติ ถ้าทำการ oxidized สารแม่เหล็กอย่างระมัดระวัง จะได้ Fe_2O_3 ซึ่งเป็นวัสดุสำคัญสำหรับเป็นตัวกลางเทปแม่เหล็ก

soft ferrite เช่น Mn-Zn ferrite ผลิตโดยการบดผสมวัสดุต่าง ๆ เข้าด้วยกัน (oxides, carbonates, etc.) บดเปียกหรือแห้ง หลังจากผสมกันดีแล้ว calcined ที่ประมาณ 1000°C การผลิตแบบราคาถูก เพื่อใช้งานทางด้านโทรทัศน์, วิทยุ อาจจะข้ามขั้นตอนการ calcined นี้ไปแต่คุณสมบัติที่ได้ ก็จะลดลงด้วย

วัสดุที่ผ่านการ calcined แล้ว ทำการบดเปียก เติม binder, plasticizer และ deflocculant เช่น PVA, PEG, ammonium lignosulphate ได้เป็น slurry ผ่าน spray dryer ป้อนผงที่ได้เข้าเครื่องอัด เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ

เผาในเตาอุณหภูมิสูง 1200–1450°C สำหรับ Mn-Zn ferrite การควบคุมบรรยากาศการเผาสำคัญมาก โดยมากใช้บรรยากาศ nitrogen มีการแปรเปลี่ยน percentage ของ O_2 ตามอุณหภูมิให้ได้ปริมาณ O_2 ที่ใกล้เคียงที่จะเกิดสมดุลของ O_2 vapor pressure สำหรับสารประกอบนั้นต้องทำเช่นนี้เพราะว่า ferrites เหล่านี้ มี Fe_2O_3 มากกว่า 50 mole ซึ่งเป็นปริมาณที่ต้องการ ปริมาณที่เกินจะเปลี่ยนเป็น FeO ซึ่งเป็นส่วนที่เป็น divalent ของ ferrite FeO เป็นตัวปรับ parameter ทางแม่เหล็กที่สำคัญ ปริมาณ O_2 ที่เหมาะในช่วงการเย็นตัว จะทำให้เกิด Fe^{2+}/Fe^{3+} ในอัตราที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีที่อุณหภูมิสูง (1400–1450°C) บรรยากาศในสมดุลคือ O_2 ซึ่งจะต้องเปลี่ยนเป็นบรรยากาศที่มี O_2 และ nitrogen ต่ำ หลังจากการเผา ทำการ finishing แล้วนำไปทดสอบ

ferrites อื่น ๆ เช่น Ni ferrite ไม่จำเป็นต้องทำเหมือนกับ Mn-Zn ferrite เพราะว่าไม่มี Fe_2O_3 เกินต้องการ และไม่จำเป็นต้องมี FeO ในองค์ประกอบสุดท้ายของ ferrite ดังนั้น Ni ferrite จะเผาในบรรยากาศธรรมดา

ปัจจัยต่าง ๆ สำหรับ ferrites ทั่วไป

โลหะ เป็นแหล่งที่ให้ magnetic moment ของวัสดุ การหาค่า magnetic moment ที่มากที่สุด (M_s) จะสะท้อนให้เห็น highest saturation flux density (B_s) โลหะ หรือ alloy เช่น Mn เองแม้ว่าจะไม่เป็นแม่เหล็ก แต่ alloy ของมันบางตัว เช่น MnBi กลับเป็นแม่เหล็ก กลุ่ม ferromagnetic มีแนวการวางตัวของ unpair atomic spins ขนานกันเกิดเป็น moment เสริมกัน โลหะออกไซด์ที่มีออกซิเจนมาก จะ dilute metallic content (โดยเฉพาะในแง่ปริมาณ) ทำให้ B_s ต่ำ แต่ถ้าแนวการวางตัวไม่ขนานกัน moment ไม่เสริมกัน จะเป็น antiferromagnetic, moment รวมได้จากการหักล้างกันเองของ spins ในทิศกลับกัน ยิ่งต่างกันมาก เช่นในกรณีที่ใช้ Zn (ion ที่เป็น nonmag.) ก็จะเพิ่ม moment รวมมากขึ้น แต่ B_s ก็ยังคงมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับโลหะ (Table 1)

Table 1. Saturation Flux Densities and Resistivities of Magnetic Materials

Material	Saturation flux density (gausses)	Resistivity (ohm-cm)
Iron	21500	10×10^{-6}
Silicon-Iron	20000	50×10^{-6}
79% Nickel Iron	8000	55×10^{-6}
Mn-Zn Ferrite	4000–5000	10^2–10^3
Ni-Zn Ferrite	3000–4000	10^4
Yttrium-Iron Garnet	1750	10^{10}–10^{12}

จะเห็นได้ว่า saturation flux density ของ ferrites มีค่าต่ำมาก เพื่อแก้ปัญหานี้ จะเพิ่มพื้นที่หน้าตัดขึ้น

Total magnetic flux = $O = B_s A$

B_s = saturation flux density, Gausses

A = cross section area, cm^2

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า 0 เมื่อ B_s ต่ำ A จะต้องเพิ่ม แม่เหล็ก ferrite จะมี cross section มาก และช่วงสั้น ในขณะที่แม่เหล็กโลหะ (แท่งหรือเกือกม้า) จะยาวและบาง

คุณสมบัติทางแม่เหล็กของ soft ferrite

ความต่างศักย์ที่ถูกชักนำ เนื่องจากขดลวดบนวัสดุที่เป็นแม่เหล็ก จะแสดงได้ด้วย (sine wave) $E = 4.44 BNAf \times 10^{-8}$

โดย E = ความต่างศักย์ (volts)

B = maximum flux density, Gauss (amplitude)

N = จำนวนรอบของการหมุน

A = cross section

f = ความถี่ (Hz)

ที่ความถี่ต่ำ (50-60 Hz) คุณสมบัติของแม่เหล็กโลหะ ที่ให้ Bs สูงมาก และมีราคาถูก เป็นที่สนใจกว่าที่จะใช้ ferrite ที่ความถี่สูง คุณภาพของ ferrite กับแม่เหล็กธรรมดา แตกต่างกัน ข้อแรกคือ จากสมการข้างบน การเพิ่มความถี่จะช่วยเพิ่ม B_s ในขณะที่ความต่างศักย์เท่าเดิม ข้อที่สองคือ core losses ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ พลังงานที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่ำลง ความสูญเสียเหล่านี้เพิ่มมากขึ้นที่ความถี่สูง เนื่องจากกระแสไหลวงภายใน หรือที่เรียกว่า eddy currents ความเข้มของ eddy current

$$P_s = KB^2t^2f^2 / R$$

K = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับการพันขดลวด

P_s = eddy current loss (watts)

B_s = maximum flux density (gausses)

t = dimension ที่เล็กที่สุด ที่ตั้งฉาก flux direction (cm.)

f = ความถี่ (Hz)

R = ความต้านทาน (ohm-cm.)

เมื่อความถี่เพิ่ม eddy current loss มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพื่อแก้ไขในข้อนี้โดยลดความหนาชั้นโลหะลง หรือใช้ core ผงโลหะที่เป็นฉนวน อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานโลหะ และ ferrites แตกต่างกันมาก จึงใช้ ferrites ได้ที่ความถี่สูง ออกซิเจนอิออนซึ่ง ferrites มีไม่พอที่ความถี่ต่ำ จะมีปริมาณมากพอที่ความถี่สูง และปรากฏว่า Ni-Zn core ใช้ที่ความถี่สูงมากเช่นเดียวกับ garnets

เกณฑ์องค์ประกอบของ Mn-Zn ferrites

แม้ระบุลงไปว่าเป็น Mn-Zn ferrites ยังมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป เช่น การใช้งาน ความถี่ ราคา เสถียรภาพที่ต้องการ อุณหภูมิ และอื่น ๆ parameter ที่แน่นอนในองค์ประกอบ ก็คือ mole fraction ของ iron oxide ซึ่งประมาณ 50 mol.% หรือ 70 wt.% ส่วน MnO และ ZnO สามารถแปรไปได้หลายค่า ถ้ามีการเติม CaO และ SiO_2 ปริมาณเล็กน้อยลงไปในส่วนผสมที่ควบคุมไว้ ทั้ง 2 ตัวจะไปอยู่ตาม grain boundaries ได้ง่าย ช่วยเพิ่มความต้านทานรวมของ ferrites, TiO_2, SnO_2 ใช้เป็นตัวเสริมคุณสมบัติอื่น ๆ

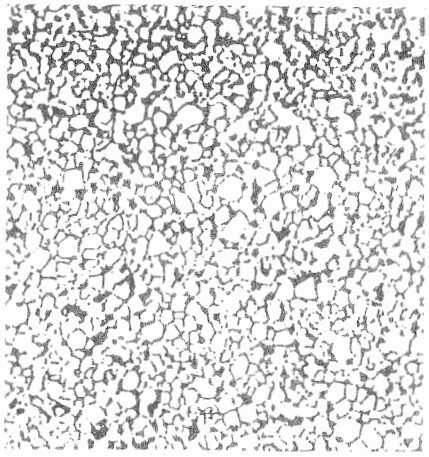
คุณสมบัติที่ต้องการ

คุณสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น permeability, saturation flux density, squareness, core loss, loss factor, สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ disaccommodation, dc bias และอื่น ๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ ต้องทำการควบคุมผลิตผลทั้งทางเคมี และฟิสิกส์ รวมทั้งคุณสมบัติทาง ceramic ต่าง ๆ ดังนี้

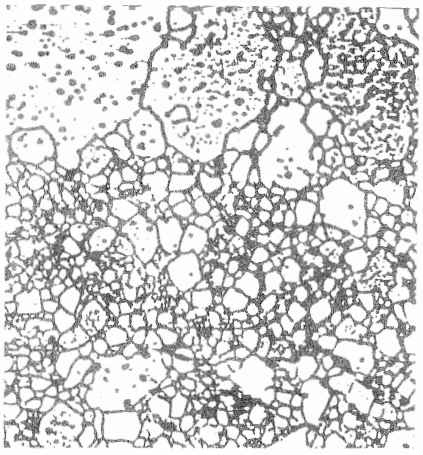
1. ทางเคมี ปริมาณธาตุหลักจะต้องควบคุมไม่ให้ผิดพลาดเกิน 0.1% impurities ของโลหะรวมแล้วไม่เกิน 0.1% เช่นกัน การเกิด oxidation ของพวกที่มีประจุได้หลายค่า เช่น (Fe) จะต้องมีการควบคุมทั้งปริมาณเหล็กและตารางการเผา

2. Crystallographic โครงสร้างผลึกที่เหมาะสมเกิดจากการกระจายอย่างเหมาะสมของ ion ใน lattice sites

3. Ceramics วัสดุที่ปราศจากรูพรุนจะมีโครงสร้างที่มีความหนาแน่นมาก รูพรุนที่มีอยู่จะต้องเป็นพวก intergranular ไม่ใช่พวก intragranular ขนาดของอนุภาคควรมีขนาดเดียวกัน และไม่ใช่พวก duplex structure มีเนื้อเดียวกัน ควรหลีกเลี่ยงการเกิดความเครียด รอยแตก และอื่น ๆ สำหรับที่ความถี่สูง ควรใช้พวกที่มีอนุภาคขนาดเล็กและมีรูพรุนบ้างเล็กน้อย สำหรับที่ใช้ทำหัวเครื่องบันทึกจะต้องมีความแข็งสูง การอัดขึ้นรูป ferrites มีการหดตัว ประมาณ 10-20% ขนาดของผลิตภัณฑ์ผิดได้ไม่เกิน 0.0025-0.005 cm.



Microstructure of a manganese-zine ferrite. Note that the Main size is relatively uniform (250x)



Microstructure of a Mn-Zn ferrite illustrating an undesirable duplex structure. (250x)

ปัจจัยที่สำคัญทางเศรษฐกิจของ soft ferrites

การวิเคราะห์เบื้องต้นปรากฏว่า ช่วงความถี่ที่ใช้งานของโลหะ และ ferrites สามารถระบุได้แน่ชัดเฉพาะในกรณีที่มีความแตกต่างกันมากเท่านั้น มีบางช่วงความถี่ที่มีการซ้อนกันอยู่ และมีการแข่งขันทางเทคโนโลยีเพื่อการใช้งานชนิดเดียวกันที่ความถี่ช่วงต่าง ๆ (ตัวอย่างเช่น inverter power supply 60 Hz ใช้ laminated metal และ 20 kHz inverter ใช้ ferrites)ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบในการแข่งขันนี้คือ

ข้อได้เปรียบ

1. ประสิทธิภาพของ ferrites inverter ดีกว่า
2. เบากว่า และเล็กกว่า
3. ขึ้นรูปได้หลายลักษณะ
4. โดยทั่วไปมีราคาถูก
5. ใช้ได้ที่ความถี่สูง
6. สามารถปรับแต่งได้ตามสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

ข้อเสียเปรียบ

1. B_s ต่ำ - Saturation Flux Density
2. T_C ต่ำ - Curie point
3. เปราะ
4. permeability จะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น
5. ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิ
6. นำความร้อนต่ำ ไม่สามารถกระจายความร้อนได้เร็ว

Ferrites สำหรับการใช้งานในระดับพลังงานต่ำ

มีการศึกษา ferrites ที่ใช้ในระดับพลังงานสูงมาก แต่ก็ยังมี ferrites อีกมากที่ใช้ในงานโทรคมนาคม ซึ่งเป็นงานระดับพลังงานต่ำ พวกที่ใช้ในช่วงนี้ เช่น เสาอากาศ, ตัวกรองเฉพาะความถี่, wide band transformer ลักษณะสำคัญของพวกนี้อยู่ที่การเหนี่ยวนำ (L) มากกว่าการสูญเสียพลังงาน

ความถี่ที่เหมาะสมของกระแสแสดงได้โดย

$$f_r = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

เมื่อ f_r = ความถี่ resonant

L = การเหนี่ยวนำ (henrys)

C = ความสามารถในการเก็บประจุ (farads)

ถ้ากำหนดค่าตัวเก็บประจุ ค่าความถี่จะกำหนดได้โดยการเหนี่ยวนำ ซึ่งกำหนดได้โดยลักษณะทางเรขาคณิต, จำนวนรอบของการพันลวด และค่า permeability ของวัสดุนั้น ในกรณีนี้ใช้ initial permeability, จะต้องคงที่ค่า permeability นี้ไว้ เพื่อให้ตัวกรองทำงานได้อย่างเหมาะสมอุณหภูมิและเวลาก็จะต้องควบคุมไว้ด้วย

การผลิต ferrites

ferrites ประมาณ 70% ผลิตขึ้นในญี่ปุ่น ผู้ผลิตรายใหญ่ คือ TDK, Hitachi, Tohoku, Tomita และ Fuji ในเยอรมัน คือ Siemens ในฮอลแลนด์ คือ Phillips ในฝรั่งเศส คือ Thomson CSF ในอังกฤษ คือ Mullard ในสหรัฐอเมริกา คือ Ferroxcube และ Magnetics ซึ่งโดยมากจะผลิตพวก power supply และพวก ferrites ที่ใช้งานด้านโทรคมนาคม ในขณะที่ Indiana General, Stack-

pole, fairite, Krytinel, D.M. Steward, Allen-Bradley และ National Micronetics จะทำการผลิต ferrites ที่ใช้ใน power supply, entertaintment และชนิดพิเศษสำหรับหัวบันทึก

หัวเครื่องบันทึกที่ทำด้วย ferrites

วัสดุที่ใช้ทำหัวบันทึกใช้ปริมาณน้อย แต่ต้องมีคุณภาพสูง ราคาจึงสูงกว่า pot core หรือ toroid, ferrites ที่ทำหัวบันทึกต้องมีคุณสมบัติพิเศษต่างจากทั่วไป มี wear resistance ดีมาก มีเนื้อแน่น machine ได้ง่าย ถ้ามีรูพรุนขนาดใหญ่จะทำให้ iron oxide ถูกกักเอาไว้ และจะแสดงพฤติกรรมออกมาเป็น abrassive

เทปแม่เหล็ก กลายเป็นธุรกิจใหญ่มาก โดยเฉพาะเทป VDO และ computers ใหญ่กว่าธุรกิจ semiconductor เสียอีก จึงไม่น่าแปลกใจว่า เมื่อปีที่ผ่านมามีบริษัทก่อตั้งใหม่ในธุรกิจประเภทนี้ถึง 30 บริษัท

ตัวกลางเทปแม่เหล็ก

Fe_2O_3 มีโครงสร้างเป็น spinel structure แต่ไม่มี ion ที่เป็น divalent อยู่เลย คือ เป็น defect structure และ from เป็น oxide ที่อุณหภูมิต่ำ การเพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ทำโดยทำให้เกิดผลึกที่มีอัตราส่วนของความยาวต่อพื้นที่หน้าตัดมาก ตัวที่ดีที่สุดในปัจจุบัน ทำโดยการ impragnated ด้วย CoO โดยจุ่ม Fe_2O_3 ลงไปในสารละลายเกลือของ Co Co จะไม่เข้าไปใน lattice ของ Fe_2O_3 ทำให้ coercive force ซึ่งเป็น parameter ทางแม่เหล็กที่สำคัญ เพิ่มขึ้น 2 เท่าตัว

การพัฒนา ferrites ในอนาคต

วัตถุดิบเป็นกุญแจสำคัญ ในการพัฒนาคุณภาพ พอๆ กับราคา เนื่องจาก Iron oxide เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น การพัฒนาจึงขึ้นกับองค์ประกอบนี้เป็นหลักความบริสุทธิ์และราคาที่เหมาะสม เป็นที่ต้องการมาก

การผลิต Iron oxide ต้นทุนต่ำ สำหรับทำ ferrites ผลิตโดยการ spray roasting ของ steel pickle liquor วิธีการผลิต Fe_2O_3 วิธีอื่น เช่น การทำ coprecipitation, cospray drying หรือการทำ cospray roasting ก็ใช้ในการทำ ferrites ได้เช่นกัน

การใช้วัตถุดิบที่มีการปรับปรุงคุณภาพ, การเปลี่ยน composition, การปรับปรุงขบวนการผลิต เราก็สามารถที่จะพัฒนาให้ได้ ferrites ที่สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้

การใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง จะเพิ่มขนาดของ grain แต่ก็จะลด intragranular porosity ลง การปรับปรุงตารางการเผา จะทำให้ permeability ของ ferrites เพิ่มขึ้น (ช่วง 15000-20000) การเพิ่ม ratio ของความยาวต่อ cross section ของผลึก จะเพิ่ม bit density ของ oxide magnetic recording media

เตาที่ใช้ นอกจาก pusher kiln แล้ว มีการพัฒนาเตาต่าง ๆ ขึ้นมาใช้รวมทั้ง roller-hearth, เตาเลื่อน การพัฒนา heating element และ refractory ทำให้ใช้อุณหภูมิสูงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อออกแบบให้ดี ก็จะควบคุมบรรยากาศเผาได้ดี แนวโน้มที่จะใช้วิธี fast firing กับ ferrites ทำให้ ferrites เป็นคู่แข่งของเทคโนโลยีอื่นๆ

การใช้ ferrites ในงานด้านอื่น ๆ

1. Magnetic Sensor sensor สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำโดยใช้ ferrites ได้ position และ rotational angle sensor ก็ใช้ ferrites ทำได้เช่นกัน

2. Magnetic shielding สีที่สามารถ absorp radar ได้ จะมี ferrites เป็นองค์ประกอบ สีที่ใช้สำหรับเครื่องบินเพื่อไม่ให้ radar ตรวจจับได้ใช้สำหรับเป็นโล่ป้องกันเครื่องบินที่นำไปทิ้งระเบิด

3. ตัวควบคุมมลภาวะ ในญี่ปุ่น มีการติดตั้งระบบการตกตะกอนของ ferrites เพื่อเป็นตัวบอกให้รู้ถึงมลภาวะของวัสดุ เช่น ปรอทจากน้ำเสีย

4. Ferrites electrode เพราะมีความสามารถในการต้านทาน Corrosion สูง จึงใช้ ferrites ที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่เหมาะสม มาทำเป็น electrode ในการใช้งาน เช่น chrome plating

5. Entertainment ferrites ferrites มีการใช้มากในวงจรวิทยุโทรศัพท์, เสาอากาศ, deflection yokes และ flyback transformers

Reference

1. Alex Goldman, "Understanding Ferrites", Amer. Cer. Soc. Bul. 63[4] pp. 543-642 (1984)
2. C.A., Harper, "Handbook of Materials and Processes for Electronics", McGraw-Hill Book Company, Inc, New York 1970 pp. 6-87-6-113
3. A.E.Fitzgerald,C.Kingsley Jr.,"Electric Machinery",4th edition, McGraw-Hill Co., Inc. New York 1985
4. Z.D., Jastrzebski, "The Nature and Properties of Engineering Materials", 2nd edition, John Wiley & Sons, New York