

## F. Gräßner

# Theoretische Betrachtungen zur unterschiedlichen Wirkungsweise von Höchstfrequenzfeldern ( > 2000 MHz ) unter den Bedingungen der Elektromagnetischen Verträglichkeit im Informationstechnikbereich auf einkristalline bzw. polykristalline Hexaferritschichten ( Ba Ferrit / Ba Co Ferrit )

## 1. Einleitung

Die folgenden Betrachtungen sollen auf die unterschiedliche Wirkungsweise von dynamischen elektromagnetischen Feldern auf hexagonale einkristalline [1,2,4,6] bzw. polykristalline magnetische Schichten im EMV Fall [32] ( kleine Felder, keine Vernachlässigungen von Feldstärkekomponenten ) eingehen. Es soll die Frage nach den unterschiedlichen Mechanismen der Feldabsorption beantwortet werden. Mögliche Hinweise auf den Einsatz, Vorteile und Nachteile von Einkristallschichten/ Polykristallschichten in der Elektromagnetischen Verträglichkeit ab 1000 MHz sind darzustellen [31].

Diese Schichten mit absorptiven Eigenschaften sind besonders für die Elektromagnetische Verträglichkeit im Informationstechnikbereich interessant, da die ausbreitungsfähigen Feldmoden in Frequenzbereichen ab 1000 – 2000 MHz erst auftreten. Dies ist der Wirkungsbereich der Spinwellenmaterialien ( Ferritschichten, Nanodrähte, magnetostruktive Schichten, Magnetooptikbauelemente ).

In der Literatur sind einige Autoren auf die unterschiedliche Wirkungsweise der Polykristalle / Einkristalle mit den dynamischen / statischen Magnetfeldern eingegangen.

Es kann das Einkristall und das Ferritpolykristall wie folgt beschrieben werden [31]:

Einkristall:

Polykristall

Unter Beachtung von Porenvolumen und Kristallorientierung.

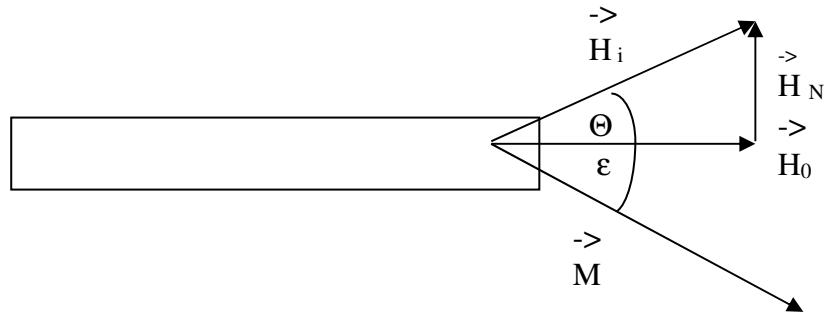
$$f_r = \gamma H_i$$

$$f_r = \gamma \left( H_i + 4 \pi M_o \frac{v_p}{v} \omega_k + ( R^2 k^2 + 4Rk + 2 ) \right)$$

Krupicka legt eine andere Approximation des Poreneinflusses dar:

$$H_i = 4/3 M \left( \frac{v}{v_p} + 1 \right)^{-1} \omega_k - \frac{K_1}{M}$$

Es wird auf die besondere Stabstruktur eines Hexaferrites verwiesen:



Im Polykristall wirkt bei jedem einzelnen Kristalliten ein Entmagnetisierungsfeld mit Gauss - Mittelung :

$$H_i = \frac{H}{\cos(\theta)}$$

$$N I \sin(\epsilon) = H_n = H_0 \tan(\Theta) , I - \text{Polarisation}$$

$$N = 2 \pi$$

$$\sin(\epsilon) = H \tan(\Theta) / 2 \pi M$$

$$H_n = H_0 \tan(\Theta)$$

Polykristall

Intergranulare Austauschkopplung an Korngrenzen, umso kleiner die Körner, umso größer die Austauschkopplung:

$$J_{\text{ex ges}} = J_{\text{ex}} + J_{\text{ex grain}}$$

$$J_{\text{ex grain}} \sim 1 / D$$

$$H_{\text{AWW}} = -J_{\text{ex ges}} / M_0$$


---

Somit konnte deutlich auf einige Literaturstellen des Standes der Wissenschaft und der Technik verwiesen werden.

Im folgenden werden einige Details zusammengefasst und der Weg der eigenen theoretischen Vorbetrachtungen eingehend beschrieben.

Das innere magnetische Feld ist gleich Summe der Effekte ( Poren, Anisotropie, Entmagnetisierungsfeldstärke, Gaußverteilung der Kristallite, Korngröße ).

Die Modellierungsstrategie hat nach Landau-Lifschitz die mikroskopischen und makroskopischen Werkstoffeigenschaften in das Gleichungssystem einzuarbeiten. Der Vergleich Polykristall ( Löcher, Korngröße, Gaußverteilung der Richtung der Orientierung ) mit Einkristall ( Idealkristall ohne Löcher, eine Richtung der hexagonalen Struktur ) ist zu realisieren.

Theoretische magnetische Gesamtfeldstärke des Polykristalls einer hexagonalen Ferritschicht wird wie folgt beschrieben:

$$H_i = H_n + H_o + h + H_{An} + H_{poren} + H_{grain} + H_{J\ exch}$$

Für das Einkristall gilt:

$$H_i = H_n + H_o + h + H_{An} + H_{J\ exch} \text{ ( ohne } J_{grain} \text{ )}$$

Gaußbetrachtung bei Polykristall:

$$H_{eff} = 4 \pi M_o \frac{v_p}{v} \omega_k + h + H_o + \frac{1}{0,08\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \left[ H_o(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i M_o} \right]$$

In der Literatur [35] ist im Vergleich der Abhängigkeit der Austauschfeldstärke von NiFe/Cu/FeMn Schichten ( 50 Å , 8 Å , 100 Å ) von der Cu Layer Dicke ein deutlicher Unterschied vom Einkristallverhalten zum Polykristallverhalten zu sehen. Der Einkristall weist die höhere Austauschfeldstärke auf. Somit kann auch die Resonanzfrequenz nach der Larmorgleichung eines Einkristalls vermutlich höher sein als eines Polykristalls.

Wir gehen von folgendem noch einfachen Gleichungssystem aus:

$$(1/\gamma_0) \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = ( \vec{M} \times \vec{H}_{eff} ) - \frac{\alpha}{\gamma_0 M} ( \vec{M} \times \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} )$$

$\vec{M}$  - Magnetisierungsvektor ,  $\gamma_0$  - Gyrotropiekonstante ,  $\alpha$  - Dämpfungskonstante ,  $\vec{H}_{\text{eff}}$  - effektiver Magnetfeldstärkevektor ( innere und äußere Effekte )

$\vec{m}$  - dynamische Magnetisierung im Material

$$\vec{H}_{\text{eff}} = \vec{H}_o + \vec{h} e^{j\omega t} + \frac{2K_1}{\mu_o M_o} \vec{e}_z$$

- $\vec{H}_o$  - statische Magnetfeldstärke
- $\vec{h} e^{j\omega t}$  - dynamischer Anteil der magnetischen Feldstärke (harmonischer Ansatz)
- $-\frac{2K_1}{\mu_o M_o} \vec{e}_z$  - magnetische Anisotropiefeldstärke der Schicht
- $-\frac{J_{\text{exch, ges}}}{M_o}$  - Austauschfeldstärke
- $H_n = H_o \tan(\Theta)$  - Entmagnetisierungsfeld im hexag. Einkristall

## 2. Theoretisches Verhalten des Einkristalls

Poren = 0 , Polykristalle = 0,  $H_{\text{exch ges}}$  Einkr.

$$\vec{M} = \begin{pmatrix} M_x e^{j\omega t} \\ M_y e^{j\omega t} \\ M_o + M_z e^{j\omega t} \end{pmatrix}$$

$$\vec{h} = \begin{pmatrix} H_x e^{j\omega t} \\ -H_y e^{j\omega t} \\ H_z e^{j\omega t} \end{pmatrix}$$

$$\vec{H}_{eff} = \begin{pmatrix} H_x e^{j\omega t} \\ -H_y e^{j\omega t} \\ H_z e^{j\omega t} + H_0 \tan(\Theta) - \frac{K_1}{M_0} + H_{exch, ges, Ein} \end{pmatrix}$$

$$- \gamma_0 M_0 = \omega_m$$

$$- \gamma_0 H_0 = \omega_0$$

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma \begin{pmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ M_x & M_y & M_z + M_0 \\ H_x & -H_y & H_z + H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch, ges, Ein}}{M_0} \end{pmatrix} - \frac{\alpha}{M} \begin{pmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ M_x & M_y & M_z + M_0 \\ j\omega M_x & j\omega M_y & j\omega M_z \end{pmatrix}$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

Bei angelegtem  $H_0$  seien folgende Vereinfachungen vereinbart:

$$H_x = H_y ; H_z \ll H_0$$

Gegenüber  $M_0$  seien  $M_x = M_y = M_z \rightarrow 0$

$$j\omega M_x = \gamma \left( M_y (H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch,ges,Ein}}{M_0}) - (M_0)(-H_y) \right) - \frac{\alpha}{M} \left( -M_0(M_y) \right)$$

$$j\omega M_y = \gamma \left( -M_x (H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch,ges,Ein}}{M_0}) + (M_0)(H_x) \right) - \frac{\alpha}{M} \left( M_0(M_x) \right)$$

$$j\omega M_z = \gamma \left( M_x(-H_y) - M_y(H_x) \right)$$

Es wird der Betrag der Magnetisierung nun in die Gleichungen eingesetzt.

$$j\omega M_x = \gamma \left( M_y (H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch,ges,Ein}}{M_0}) - (M_0)(-H_y) \right) - \frac{\alpha}{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}} \left( -M_0(M_y) \right)$$

$$j\omega M_y = \gamma \left( -M_x (H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch,ges,Ein}}{M_0}) + (M_0)(H_x) \right) - \frac{\alpha}{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}} \left( M_0(M_x) \right)$$

$$j\omega M_z = \gamma \left( M_x(-H_y) - M_y(H_x) \right)$$

Nach der Subtraktion des Terms mit der Gyrotropiekonstante auf der rechten Seite der 2 oberen Gleichungen, Separierung der Wurzel und Gleichsetzen der Wurzel erhält man:

$$\frac{\alpha(M_0 j \omega M_y)}{j \omega M_x - \gamma [M_y (H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch,ges,Ein}}{M_0})]} = \frac{-\alpha M_0 j \omega M_x}{j \omega M_y + \gamma [M_x (H_0 \tan(\theta) - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{exch,ges,Ein}}{M_0})]}$$

$$M_y j \omega = \gamma (M_x - M_y) (-H_x + H_y)$$

Nach der Auflösung der Gleichung und Näherung der quadratischen Taylorreihe für kleine  $M_x$  und  $M_y$  mit der Vorschrift  $(a + \varepsilon)^2 \approx a^2 (1 + 2\varepsilon/a)$  und den Vereinfachungen  $|M_x| = |M_y| = |M_z|$ ,  $M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$  mit dem z.B. Grenzfall  $M_y = M_0 (1/\sqrt{3})$  entsteht die Gleichung:

$$|M_x| \approx |M_y| \approx \frac{-\frac{1}{2} j \gamma (\frac{1}{\omega}) M_0^2 |H_{x,y}|}{\frac{1}{2} j \gamma \frac{1}{\omega} M_0 |H_{x,y}| - j 2 \gamma \frac{1}{\omega} M_0 (H_0 \tan \Theta - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{AWW}}{M_0})} \sqrt{3}$$

$$|M_z| \approx \frac{-j (\frac{1}{2\omega}) M_0^2 |H_{x,y}| + \gamma (\frac{2}{j \omega \sqrt{3}}) [-H_x + H_y]}{\frac{1}{2} j \gamma \frac{1}{\omega} M_0 |H_{x,y}| - j 2 \gamma \frac{1}{\omega} M_0 (H_0 \tan \Theta - \frac{K_1}{M_0} - \frac{J_{AWW}}{M_0})}$$

### 3. Theoretisches Verhalten des Polykristalls

Poren > 0 , Anzahl der Polykristalle > 0, H<sub>exch</sub> ges Polykr.

$$\vec{M} = \begin{pmatrix} M_x e^{j\omega t} \\ M_y e^{j\omega t} \\ M_0 + M_z e^{j\omega t} \end{pmatrix}$$

$$\vec{h} = \begin{pmatrix} H_x e^{j\omega t} \\ -H_y e^{j\omega t} \\ H_z e^{j\omega t} \end{pmatrix}$$

$$\vec{H}_{eff} = \begin{pmatrix} + \frac{0.05}{0,08 \pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} [Ho(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i Mo}] + 4\pi M_0 \frac{v_0}{v} \omega_k + H_x e^{j\omega t} \\ + \frac{0.05}{0,08 \pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} [Ho(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i Mo}] + 4\pi M_0 \frac{v_0}{v} \omega_k - H_y e^{j\omega t} \\ H_z e^{j\omega t} + 4\pi M_0 \frac{v_0}{v} \omega_k + \frac{0.9}{0,08 \pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} [Ho(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i Mo}] \end{pmatrix}$$



$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma \left( \begin{array}{ccc} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ M_x & M_y & M_z + M_0 \\ H_x + \frac{0.05}{0.08\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} [Ho(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i M_0}] + 4\pi M_0 \frac{v_0}{v} \omega_k & -H_y + \frac{0.05}{0.08\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} [Ho(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i M_0}] + 4\pi M_0 \frac{v_0}{v} \omega_k & H_z + 4\pi M_0 \frac{v_0}{v} \omega_k + \frac{0.9}{0.08\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} [Ho(\tan(\Theta_i)) - \frac{K_{i1}}{M} - \frac{1}{D_i M_0}] \end{array} \right) - \frac{\alpha}{M} \left( \begin{array}{ccc} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ M_x & M_y & M_z + M_0 \\ j\omega M_x & j\omega M_y & j\omega M_z \end{array} \right)$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

Bei angelegtem  $H_0$  seien folgende Vereinfachungen vereinbart:

$$H_x = H_y ; H_z \ll H_0$$

$$\text{Gegenüber } M_0 \text{ seien } M_x = M_y = M_z \rightarrow 0$$

Die weiteren Berechnungen erfolgen analog zu den ausgeführten Schritten des Vorgehens im Polykristall.

Im Folgenden sollen die theoretischen Betrachtungen als Ergebnis in der Grafik dargestellt werden. Besonderes Interesse wird dem theoretischen maximalen möglichen HF- Verlust der Magnetisierung im Polykristall/ Einkristall und anderen theoretischen Aussagen der Schichtparameter entgeggebracht.

#### 4. Graphische Auswertung der theoretischen Berechnungen

Die Ergebnisse der Simulation für einkristalline und polykristalline Hexaferritschichten für den Fall der EMV Anregung sind in den folgenden Bildern zu sehen.

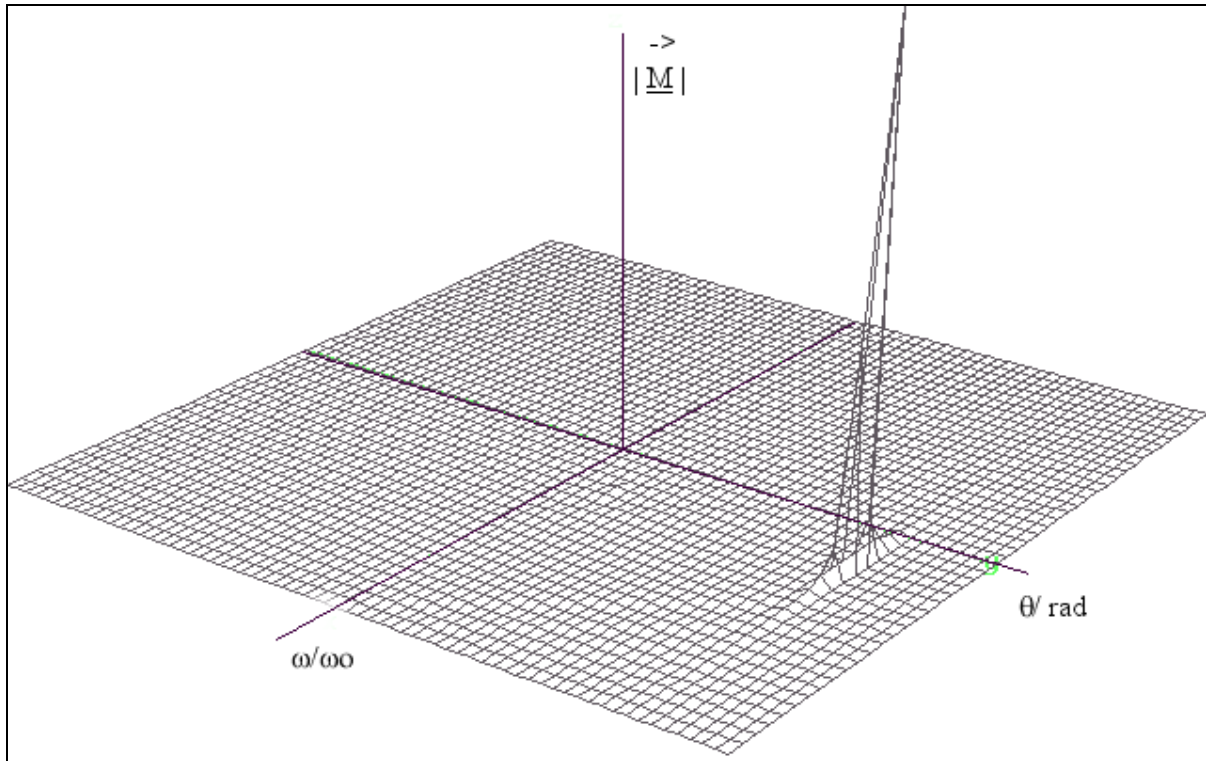


Bild 3 : Abhängigkeit des Betrages der komplexen Magnetisierung einer einkristallinen Hexaferritschicht im Fall der dynamischen EMV Anregung von der Frequenz und der Ausrichtung der z-Ebene der Einheitszelle des Hexaferrites

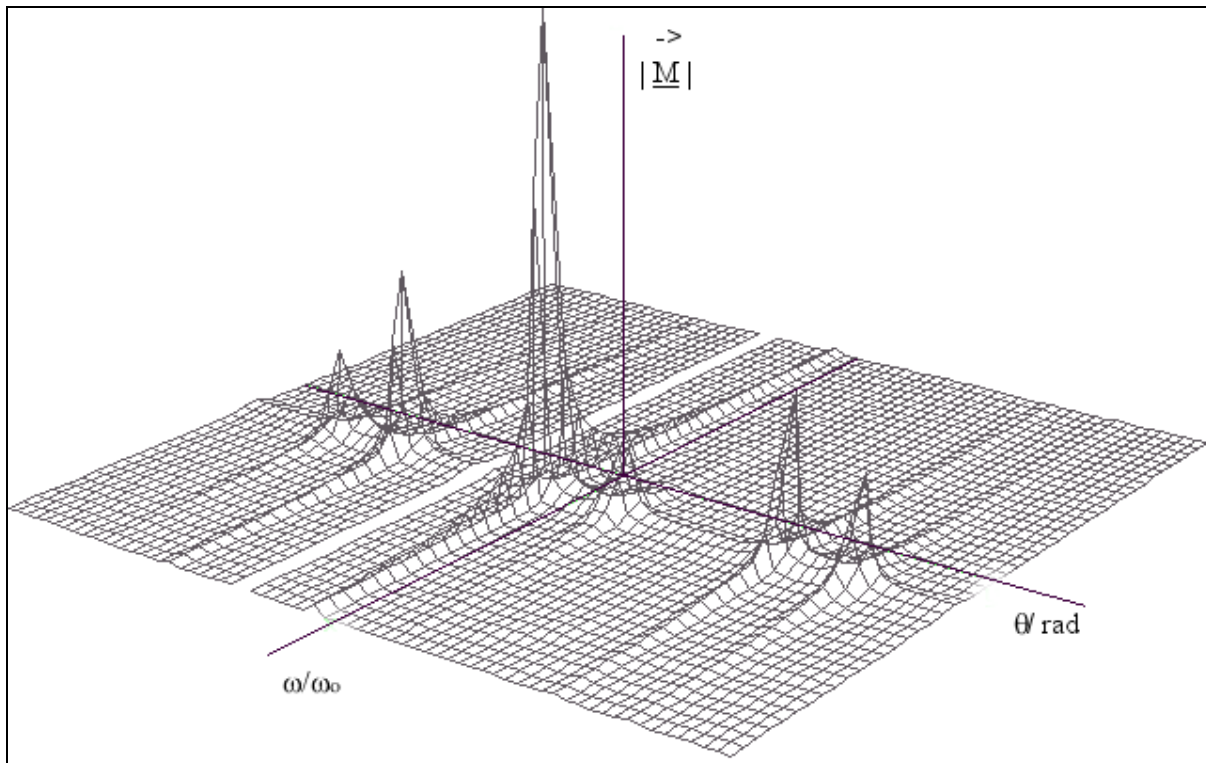


Bild 4 : Abhängigkeit des Betrages der komplexen Magnetisierung einer polykristallinen Hexaferritschicht im Fall der dynamischen EMV Anregung von der Frequenz und der Ausrichtung der z-Ebene der Kristallite des Polykristalls

Mehrere Aussagen sind aus der Simulation zu entnehmen:

1. Durch die Summe der Halbwertsbreiten der Magnetisierung des Polykristalls ist in diesem Kristallsystem ein höherer HF-Verlust zu erwarten.
2. Im Einkristall ist eine höhere Resonanzfrequenz zu konstatieren. Verursacht wird diese höchstwahrscheinlich durch die größere innere effektive Magnetfeldstärke im Einkristall. Über die Gyrotropiekonstante ist somit diese größere Resonanzfrequenz begründbar.
3. Eine definiertere HF-Absorption je Einsatzfrequenz ist mit dem Einkristall designbar.

## **4. Zusammenfassung**

Es sind folgende Effekte im Sinne der Einschätzung der unterschiedlichen Wechselwirkung des dynamischen HF-Feldes mit Einkristallschichten zu Polykristallschichten des Hexaferrites im Bereich der Elektromagnetischen Verträglichkeit als Berechnungsergebnis zu konstatieren. Durch die Summe der Halbwertsbreiten der Magnetisierung des Polykristalls ist in diesem Kristallsystem ein höherer HF-Verlust zu erwarten.

Im Einkristall ist eine höhere Resonanzfrequenz zu konstatieren. Verursacht wird diese höchstwahrscheinlich durch die größere innere effektive Magnetfeldstärke im Einkristall. Über die Gyrotropiekonstante ist somit diese größere Resonanzfrequenz begründbar. Eine definiertere HF-Absorption je Einsatzfrequenz ist mit dem Einkristall designbar

Begründet kann dieses Verhalten der größeren Magnetisierung im Einkristall mit dem Effekt der größeren Austauschfeldstärke im Einkristall [ 35 ] verursacht durch die größere Länge der Austauschwechselwirkung im Einkristall. Die Resonanzfrequenz im Einkristall ist größer. Dies ist ein eindeutiger Vorteil in der Elektromagnetischen Verträglichkeit des Informationstechnikbereiches. Ebenso ist die Resonanz genauer zu berechnen, da die verwischenden Wirkung der Kristallite im Polykristall fehlt.

## Literatur

### 8 Literatur

- [1] P. J. van der Zaag, J. M. M. Ruigrok, M. F. Gillies, Philips J. Res. **51** (1998)
- [2] Y. Suzuki, et al., Appl. Phys. Lett. **68**, 714 (1996)
- [3] J. D. Adam, S. V. Krishnaswamy, et al., J. Magn. Magn. Mater. **83**, 419 (1990)
- [4] Z. Qian, G. Wang, J. M. Sivertsen, J. H. Judy, IEEE Trans. on Magnetics **33**, 5
- [5] C. M. Williams, D. B. Chrisey, et al., J. Appl. Phys. **75**, 1676 (1994)
- [6] H. Mikami, Y. Nishikawa, et al., *Conf. Proc. Int. Conf. Ferrites* **7**, 126 (1996)
- [7] K. Tanaka, Y. Omata, et al., IEEE Trans. J. Magn. Jpn. **6**, 4801 (1991)
- [8] DE 3341468 A1, 28.02.1983
- [9] DE 199 304 A1, 13.03.1999
- [10] M. M. Amado, M. S. Rogalski, et al., J. Appl. Phys. **83**, 6852 (1998)
- [11] Michalowsky, L.: Neue keramische Werkstoffe. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart, 1994
- [12] Knauf, O.: Nutzung großer Abkühlgeschwindigkeiten zum Amorphisieren spontan kristallisierender oxidischer Schmelzen, dargelegt am System BaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dissertation B, Technische Hochschule Ilmenau, 1988
- [13] Hülsenberg, D.; Knauf, O.: Synthesis of barium hexaferrite superfine powder by means of glass crystallization technique. Proc. of the 1. conference of European Society of Glass Science and Technology, 1991, Sheffield, S. 64-65
- [14] Hülsenberg, D.; Knauf, O.: Feinstpulver nach der Glaskristallisationstechnik u.a. Bariumhexaferrit, TU Ilmenau, 1992, Projekt der PLR, Forschungszentrum Jülich GmbH, Förderkennzeichen 03 M 27238
- [15] Hülsenberg, D.; Knauf, O.: Fusion of Glasses with high content of Iron Oxide. Ceramic Transactions, Vol. 29, „Advances in Fusion and Processing of Glass, S. 289-279
- [16] Hülsenberg, D.; Knauf, O.; Hamann, B.: Superfine Powder by melt quenching. 8. SIMTEC Florence, 1994
- [17] Knauf, O.; Michelsen, C.-E.; Hülsenberg, D.; u.a.: Method and apparatus for preparation of hard magnetic single-domain particles with high coercive force

and use of the particles. Patent DE 19715477

- [18] Lipfert, R.: Untersuchungen zur Weiterverarbeitung von Bariumhexaferritfeinpulver. Diplomarbeit, TU Ilmenau 1992
- [19] Lipfert, R.; Knauf, O.; Hülsenberg, D.: Strukturierbare magnetische Funktionskomponenten und Fertigungsverfahren für Mini- und Mikroaktuatoren. Teilprojekt Bariumhexaferrit, Abschlußbericht des Vorprojekts, TMWFK 1996
- [20] Lipfert, R.: Möglichkeiten der Verarbeitung von Bariumhexaferrit-Feinpulver für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik. 2. Statusseminar Verbundprojekt MAFUK, VDI/VDE-IT, Stuttgart 1998
- [21] Doppleb, C.; Lipfert, R.; Hülsenberg, D. u.a.: Erzeugung magnetischer Bereiche durch Laserbearbeitung. IWKM, Mittweida 1998, Scientific Reports, Nr. 9, 1998
- [22] Hülsenberg, D.; Lipfert, R.; Doppleb, C.: Microstructured barium hexaferrite layers. 9th CIMTECH- World Ceramic Congress & Forum On New Materials, Florenz, Italy, June 14-19, 1998
- [23] Hülsenberg, D.; Brandes, R.; Doppleb, C.; Knauf, O.; Lipfert, R.: Einkristallines Bariumhexaferritpulver: Herstellung, Eigenschaften, Anwendung in der Mikrotechnik. In : Technische Keramische Werkstoffe, John von Freyend GmbH, Fachverlag für Wirtschaft und Außenhandel, Köln, Erg.-Lfg Juli 1999
- [24] S. Besenicar, M. Drogenik, "High coercivity Sr hexaferrites", J. Magnetism and Magnetic Mater., 101, 1991, 307-309
- [25] G. Heimke, „Verfolgung der Mahlwirkung verschiedener Mühlentypen durch magnetische Messungen“, Ber. Dtsch. Keram. Ges. 39, 1962, 326-330
- [26] W. Schöps, H. Beer, „Das Verhalten von Bariumferritpulvern bei Wärmebehandlung“, Silikattechnik 28 [7], 1977, 208-210
- [27] Y. Kaneko, K. Kitajima, N. Takusawaga, „Effects of CaO and SiO<sub>2</sub> Addition on Microstructure and Intrinsic Coercivity of Sintered Sr- Ferrites“, J. Cer. Soc. Japan, Int. Edit. 100, 1993, 1413-1417
- [28] Y. Teng, B. Lu, J. Yao, "Influence of raw materials and milling technological process on magnetic properties of sintered anisotropic Sr- Ferrite magnet", J. Appl. Phys. 81 [8], 1997, 5134-5136
- [29] Z. Osawa, K. Kawauchi, M. Iwata, H. Harada, " Effects of polymermatrices on magnetic properties of plastic magnets", J. Mater. Science 23, 1088, 2637-

- [30] B. Pawlowski, "Synthese und Testung von Haftvermittlern für Metalloxyde auf der Basis von Polybutadienepoxyd", (Diplomarbeit), FSU Jena- Sektion Chemie, 1989
- [31] Krupicka, Physik der Ferrite und der verwandten Oxyde, Vieweg und Sohn Verlag, Braunschweig , 1975
- [32] Schober, Mikrowelleneigenschaften und Technologie des schwachen Ferromagneten FeBO<sub>3</sub> " Diss. RWTH Aachen, 1976, S. 40, S.33
- [33] Gräbner, Teichert, Absorption Experiments of Ni-Zn Ferrite Thin Films for EMC Applications , Proceedings of the 9 th International Conference on Spin Electronics (Section of International Conference on Microwave Ferrites " hold in Moscow 13.-15. Nov. 2000
- [34] Koledintseva, Kitaitsev, New Absorbing Materials for EMC Application, Proceedings of the 9 th International Conference on Spin Electronics ( Section of International Conference on Microwave Ferrites " hold in Moscow 13.-15. Nov. 2000
- [35] Hillebrands , Forschungsreport 1998 , Universität Kaiserslautern S. 37