Jurnal Sains Materi Indonesia
Indonesian Journal of Materials Science

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 86 - 89
ISSN : 1411-1098

SIFAT MAGNETISASI DISEKITAR TITIK KOMPENSASI DARI SISTEM LAPISAN TIPIS GdFeCo/GdFe

Trimardji Atmono[1], Yunanto[1] dan Karl-Heinz Otto[2]
[1]*Puslitbang Teknologi Maju (P3TM) - BATAN*
Jl. Babarsari, Kotak Pos : 8 Yogyakarta 5500
[2]*Kassel-University-Germany*

ABSTRAK

SIFAT MAGNETISASI DISEKITAR TITIK KOMPENSASI DARI SISTEM LAPISAN TIPIS GdFeCo/GdFe. Telah dilakukan penelitian sifat magnetisasi dari sistem lapisan tipis GdFeCo/GdFe yang merupakan gabungan logam tanah jarang dan logam peralihan. Lapisan tipis magnetik tersebut dihasilkan dengan metode *Sputtering* pada frekuensi radio 13,56 MHz, sebagai *sputtergas* adalah gas mulia Argon. Sifat-sifat magnetik diteliti dengan pengukuran pemutaran bidang polarisasi menggunakan *Kerr-Magnetometer*, pengukuran magnetisasi dengan *Vibrating Sample Magnetometer*. Untuk meneliti sifat anisotropi dipergunakan *Torque magnetometer*. Hasil penelitian menunjukkan terbentuknya dinding yang muncul diantara 2 lapisan tunggalnya. Tenaga yang terkandung di dalam sekat tersebut tergantung dari temperatur serta terkolerasi langsung dengan anisotropi magnetik. Pada temperatur kompensasi, tenaga dinding tidak teramati, diskontinuitas, dan kemudian muncul lagi sebelum dicapai suhu *Curie*. *Switching field* H_s yang merupakan gaya koersitiv dari lapisan ganda tergeser dari gaya koersitiv H_c sesuai dengan besarnya tenaga. *Sputtergas* berpengaruh langsung terhadap sifat magnetik tersebut, terutama besarnya tekanan yang sangat menentukan terjadinya pembalikan arah EA dari lapisan tipis pada suhu tertentu. Bahkan pada tekanan tertentu terjadi perubahan arah *easy-axis*, dari *in-plane* ke *perpendicular*, melalui efek *stress/strain*. Pemutaran bidang polarisasi menghasilkan efek *Kerr* yang cukup besar, mencapai 40 menit, yang kemungkinan disebabkan oleh *enhance* dari lapisan SiNx melalui efek *antireflection*.

Kata kunci : Lapisan tipis magnetik, RF-*sputtering, switching field, interface wall*

ABSTRACT

THE MAGNETIC PROPERTIES ON THE COMPENSATION POINT OF THE SYSTEM THIN FILM GdFeCo/GdFe. The research on the magnetic properties of the system thin film GdFe/GdFeCo, which is the alloy of rare-earth and transitionsmetal, has been done. Thin films were prepaired by using sputtering method at the frequenz of 13,56 MHz, with Argon as sputtergas. The magnetic propertise were investigated with Kerrmagnetometer for measuring the rotation of polarizationsplane. The measurement of magnetization and anisotropy were carried out with Vibrating Sample Magnetometer and Torquemagnetometer, respectively. The research showed the forming of interface wall between the single thin film. The energy of this wall was depend on the temperature and corelated directly to the magnetic anisotropy. At the compensationstemperatur the energy was discontinued and also appeared before the Curie temperatur was reached. The switching field Hs which is coercitiv force in the single layer was shifted compared to the coercitiv force Hc according to the wall energy. The Sputtergas has the direct influence on this magnetic property, especially the magnification of the pressure on the changing of the easy axis of the thin film at the certain temperature. Even in the certain temperature the reversing of the EA from in-plane to perpendicular anisotropy was occurred due to the effect of stress/strain. The rotating of polarizationsplane produced the large Kerr-effect, reached the value of 40 minutes, perhaps due to the enhance of SiNx-layer through the effect of antireflection.

Key words : Magnetic thin film, RF-sputtering, switching field, interface wall.

PENDAHULUAN

Lapisan tipis yang bersifat amorph dari bahan campuran logam peralihan dan tanah jarang (RE-TM) sangat intensiv diteliti untuk tujuan *recording* dengan teknik magnetooptik. Dalam aplikasi ini diperlukan sifat spesial yang harus dimiliki oleh lapisan tipis tersebut. *Perpendicular anisotropy* misalnya, merupakan sifat mutlak yang harus tersedia [1]. Sifat ini bisa diperoleh dengan cara memberikan kondisi *sputter* tertentu tanpa mempengaruhi sifat yang lain. Gaya koersitiv harus bisa divariasi/dikontrol dengan mengubah komposisi/ kandungan dari komponen logam peralihan dan atau logam tanah jarang. Suhu *Curie* bisa dikendalikan melalui kontrol kandungan Co [2]. Perkembangan terakhir adalah penelitian tentang sifat interaksi *exchange coupled* dari

sistem yang terdiri dari paling sedikit 2 (dua) lapisan tipis [3]. Sistem ini menjanjikan suatu kapasitas penyimpanan data yang berlimpah serta kecepatan akses data yang meningkat. Untuk memperoleh sifat yang *reproducable* dengan *performance* yang terpercaya, maka pengaruh dari *exchange coupling* terhadap sifat kemagnetan harus diteliti dengan cermat, terutama menggunakan peralatan karakterisasi dengan presisi tinggi. Lapisan tipis RE-TM memiliki sifat ferimagnetik pada komposisi tertentu (komposisi kompensasi) dimana magnetisasi dari komponen RE dan TM saling menghilangkan dengan resultan nol. Titik kompensasi ini tidak harus terjadi pada temperatur ruang, sehingga muncul sifat temperatur kompensasi, yaitu suatu temperatur dimana kedua magnetisasi saling menghilangkan, menghasilkan magnetisasi terukur=0. Pada makalah ini disajikan hasil penelitian kelakuan magnetisasi pada daerah sekitar titik/ temperatur kompensasi dari lapisan tipis ganda GdTbFe/ GdTbFeCo yang dihasilkan dengan metoda *RF-Sputtering*.

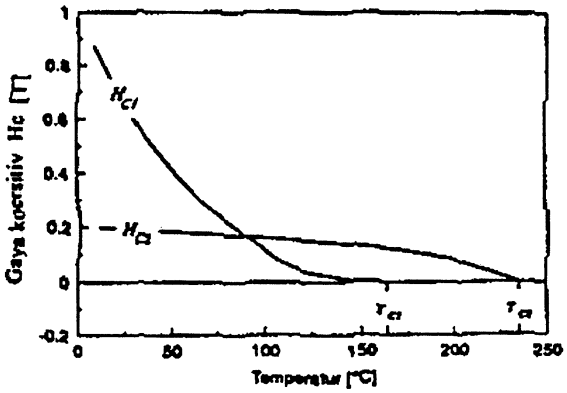
TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Lapisan tipis dihasilkan dengan metoda *sputtering* tanpa tegangan bias pada anoda. Daya nominal untuk RF berkisar antara 150 s/d 200 W untuk memperoleh tegangan bias pada katoda yang besarnya -800 s.d. -1000 V. Sebagai *sputter* gas adalah Argon dengan kemurnian 99,9%. Tekanan Ar pada proses *sputtering* adalah $5x10^{-2}$ mbar. Jarak elektroda 30 mm, substrat dipasang pada anoda/*ground* dan target GdFe(kemurnian 99,95%) pada katoda untuk menghasilkan lapisan tipis GdFe dan sistem *mosaic* GdFe yang disubstitusi dengan Co untuk menghasilkan lapisan tipis GdFeCo. Komposisi dari target pada umumnya tidak sesuai dengan komposisi dari lapisan tipis karena proses *sputtering* yang kompleks yang melibatkan banyak parameter. Kandungan masing-masing elemen dianalisis dengan EDX berdasar intensitas/cacah pulsa untuk puncak tenaga sinar X karakteristik yang dipancarkan oleh masing-masing unsur. Ketebalan lapisan diukur dengan *stylus* DEKTAK. Sifat kemagnetan diukur dan dianalisis menggunakan *VSM* (*Vibrating Sample Magnetometer*) dan *Kerrmagnetometer*. Untuk meneliti sifat anisotropi, dilakukan melalui pengukuran momen magnetik dengan *Torquemagnetometer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

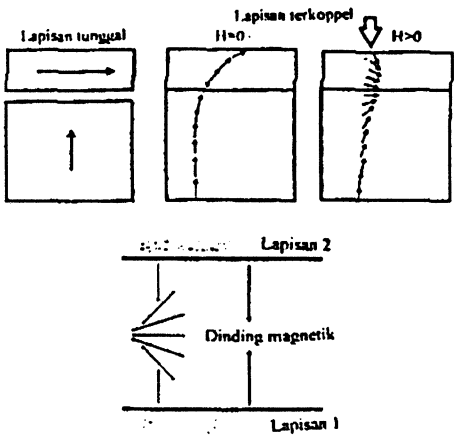
Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi lapisan tipis yang masing-masing terdiri dari $Gd_{18}Fe_{82}$/ $Gd_{36}Fe_{60}Co_4$ dan $Gd_{30}Fe_{64}Co_6/Gd_{20}Fe_{80}$. Lapisan SiNx berfungsi untuk melindungi *thin film* dari reaksi dengan udara, karena logam tanah jarang sangat sensitif terhadap oksigen, demikian pula Fe. Disamping itu SiNx berfungsi untuk meningkatkan efek pemutaran bidang polarisasi.

Lapisan ferimagnetik terdiri dari momen magnetik RE dan TM yang terkopel kuat secara antiparalel satu terhadap lainnya. Untuk lapisan ganda yang berinteraksi adalah terdiri dari lapisan RE+ dan lapisan TM+. Interaksi ini akan mempengaruhi/mengubah harga besaran magnetik seperti gaya koersitiv dan sifat anisotropi dari lapisan tunggalnya yang terpisah. Hasil pengukuran gaya koersitiv untuk lapisan tunggalnya ditunjukkan pada Gambar 1. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Kerrmagnetometer*, mulai dari suhu 0°C sampai 250°C. Terlihat bahwa memang tidak ada korelasi langsung diantara keduanya, dimana masing-masing memiliki karakter sendiri, Hc sebagai fungsi suhu. Pada suhu ruang, gaya koersitiv dari lapisan tipis $Gd_{18}Fe_{82}$ adalah 0,7 T, sedangkan lapisan kedua 0,2T.



Gambar 1. Hasil pengukuran Hc dari kedua lapisan tipis sebagai fungsi suhu

Suhu *Curie* dari lapisan pertama adalah 162°C, sedangkan dari lapisan tipis kedua $Gd_{36}Fe_{60}Co_4$ adalah lebih besar, yaitu 236°C. Lapisan tipis kedua memiliki Tc yang lebih tinggi karena substitusi Co. Meskipun lapisan pertama memiliki Hc yang lebih besar, tetapi kemudian turun lebih cepat dari lapisan kedua dengan naiknya temperatur. Sehingga hal ini merupakan bukti bahwa lapisan pertama bersifat TM+ dan lapisan kedua bersifat RE+ tanpa titik kompensasi karena kandungan Gd yang terlalu besar. Titik temu dari kedua kurva disekitar 185°C tidak mempunyai arti fisis, karena kedua lapisan tipis

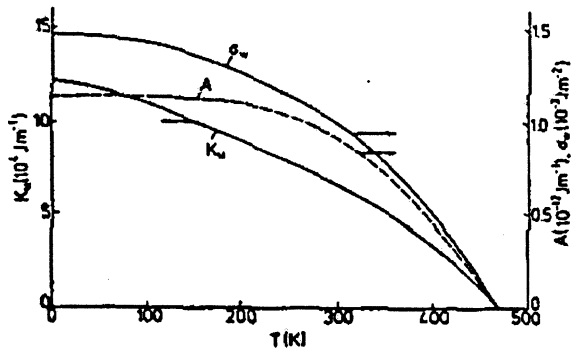


Gambar 2. Dinding magnetik diantara sistem lapisan tipis

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 86 - 89
ISSN : 1411-1098

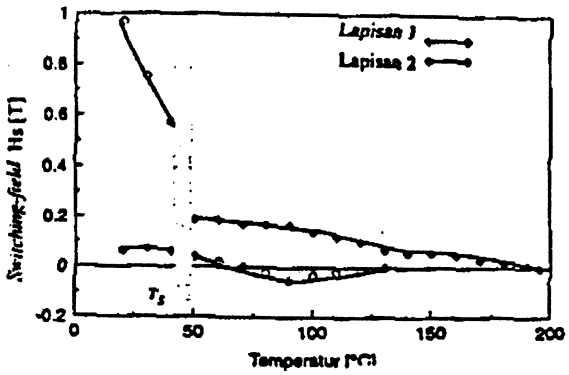
merupakan lapisan tunggal. Pada saat dipasang medan magnet luar yang cukup kuat untuk membuat magnetisasi jenuh, maka akan muncul dinding magnetik dengan arah horisontal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 secara skematis. Konfigurasi ini melibatkan tenaga kopling antar lapisan σ_w, gaya koersitiv dari lapisan tunggal Hc dan *switching field* Hs yang merupakan gaya koersitiv pada sistem lapisan non tunggal.

Arah momen magnetik pada perbatasan adalah antiparalel dengan perputaran/rotasi diantaranya. Hubungan antara Hc, Hs dan tenaga dinding σ_w diberikan oleh persamaan [5] : $Hs = Hc + \sigma_w/(2Ms\ t)$ dengan t adalah ketebalan dari *thin film*. Selama proses penurunan temperatur, pengaruh medan luar H menjadi sangat besar, karena magnetisasi turun dengan naiknya temperatur. Selain dari pada itu, gaya koersitiv disekitar titik kompensasi adalah berbanding terbalik dengan magnetisasi M, tetapi kemudian sebanding dengan M. Besarnya tenaga yang terkandung di dalam dinding magnetik tersebut diberikan oleh [5] : $\sigma_w = 4\ AKu$, dimana A adalah tetapan *exchange* dan Ku adalah tetapan anisotropi. Hasil pengukuran ketiga besaran ini sebagai fungsi dari temperatur untuk lapisan $Gd_{20}Fe_{80}$/ $Gd_{17}Fe_{79}C0_4$ ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar3. Tetapan anisotropi K, *exchange constant* A dan tenaga dinding σ_w sebagai fungsi suhu.

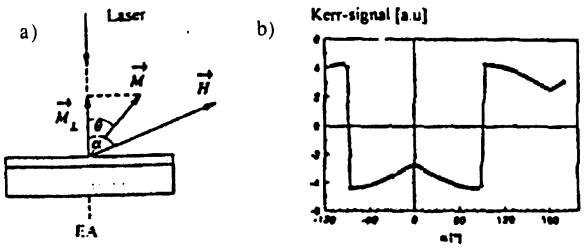
Tetapan *exchange* memperlihatkan harga yang hampir konstan pada daerah temperatur sampai 200K, tetapi kemudian turun sangat tajam sampai pada temperatur 460K. Meskipun konstanta anisotropi relatif tidak begitu besar, tetapi EA tetap terletak pada normal bidang (*perpendicular anisotropy*) dan tidak terjadi pemutaran arah magnetisasi dari EA ke HA. Hal ini berarti bahwa komposisi lapisan tipis berada di daerah dibawah komposisi kompensasi, artinya bersifat TM+ dimana momen magnetik dari Gd dan Tb adalah antiparalel dengan Fe dan Co untuk membentuk sistem campuran bersifat ferimagnetik. Tampak bahwa dinding magnetik juga turun secara kontinu (tidak diskontinu) yang memperkuat interpretasi tersebut bahwa dalam hal ini lapisan tipis yang terbentuk bersifat TM+. Untuk suatu sistem dimana terjadi diskontinuitas tenaga dinding sebagai fungsi temperatur ditunjukkan pada Gambar 4. Tampak bahwa pada daerah temperatur 40°C-50°C terjadi diskontinuitas harga σ_w yang mungkin diinterpretasikan terjadinya pergeseran tempat tenaga dinding. Dalam hal diskontinuitas tersebut, terjadi perubahan arah magnetisasi, yaitu dari sifat RE+ menjadi TM+, dimana pada pada daerah sangat sempit terjadi perubahan arah kurva histerisis [1,2].



Gambar 4. Tenaga dinding sebagai fungsi dari temperatur untuk lapisan RE+

Pada Gambar 5. ditunjukkan hasil pengukuran pemutaran bidang polarisasi untuk berbagai sudut α antara EA dan medan magnit luar. Arah dari sumbu ringan adalah tegak lurus dengan bidang lapisan tipis, artinya magnetisasi terletak sejajar normal tanpa pengaruh medan luar. Pertama-tama lapisan tipis ditempatkan dalam medan B besar (3T) sampai jenuh, orientasi momen magnetik secara keseluruhan adalah paralel dengan medan, sehingga menghasilkan sinyal *Kerr* yang terbesar. Kemudian medan magnit diputar, sehingga magnetisasi sebagai fungsi dari kuat medan anisotropi dari lapisan tipis juga berubah/berputar. Oleh karena yang pengamatan dilakukan dengan tegak lurus terhadap bidang lapisan tipis, maka sinyal yang terukur adalah efek polar, sehingga hanya komponen yang tegak lurus yang memberikan kontribusi terhadap pemutaran bidang polarisasi. Hasil pengukuran menunjukkan kenaikan efek ini dengan bertambahnya sudut α, seperti terlihat pada Gambar 5b. Kelakuan tersebut bisa dimengerti dengan mengingat bahwa komponen lapisan tipis terdiri dari lapisan yang saling terkopel antara RE+ dan TM+ (*exchange coupled*).

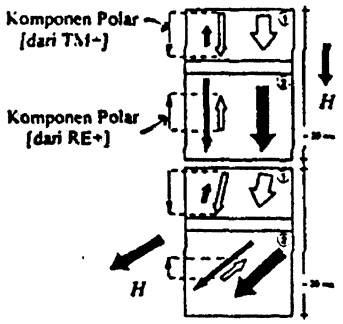
Untuk lapisan tipis dengan sifat yang kedua maka komposisinya berada di daerah sekitar/mendekati



Gambar 5. Hasil pengukuran efek Kerr polar sebagai fungsi sudut α

komposisi kompensasi, artinya *netto* magnetisasi Ms hampir nol. Hal ini menyebabkan kuat medan anisotropi yang sangat besar mengingat hubungan $H_k=2K_u/M_s$.

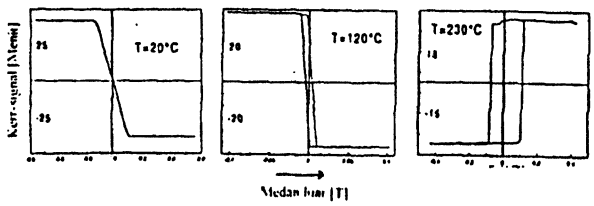
Kelakuan tersebut bisa dimengerti dengan mengingat bahwa komponen lapisan tipis terdiri dari lapisan yang saling terkopel antara RE+ dan TM+ (*exchange coupled*). Untuk lapisan tipis dengan sifat yang kedua maka komposisinya berada di daerah sekitar/ mendekati komposisi kompensasi, artinya *netto* magnetisasi Ms hampir nol. Hal ini menyebabkan kuat medan anisotropi yang sangat besar mengingat hubungan $H_k=2K_u/M_s$. Untuk medan yang tidak paralel dengan dengan *netto* magnetisasi maka lapisan tipis dengan sifat RE+ akan bisa mengikuti arah dari medan luar, seperti diperlihatkan pada Gambar 7 di bawah ini. Oleh karena kuat medan anisotropi dari lapisan RE+ lebih kecil (jauh dari komposisi kompensasi) maka sebagai akibatnya adalah bahwa pemutaran bidang polarisasi akan lebih besar untuk sudut $\alpha \neq 0$.



Gambar 6. Skema timbulnya efek Kerr yang besar pada sudut $\alpha \neq 0$

Adapun besarnya pemutaran bidang polarisasi ini juga diperkuat (*enhanced*) oleh adanya sifat *antireflection* dari lapisan SiN /4/, sehingga bisa mencapai orde 40-50 menit.

Pada Gambar 7 ditunjukkan perubahan arah anisotropi, dalam hal ini perubahan dari sifat RE+ menjadi sifat TM+ yang ditandai dengan pembalikan arah kurva histerisis pada pengukuran dengan menggunakan *Kerrmagnetometer*.



Gambar 7. Pembalikan arah histerisis yang menandai perubahan sifat dari RE+ ke TM+

Titik kompensasi dari lapisan tipis tersebut adalah 225°C, sedangkan titik pembalikan arah magnetisasi adalah 130°C. Sistem lapisan tipis dengan sifat yang demikian, diperoleh dengan cara khusus, yaitu dengan memberikan tekanan Argon yang cukup besar, dalam orde $1x10^{-1}$ mbar yang bisa menyebabkan perpendicular anisotropi melalui *stress/strain* [2,3] sebagai efek kebalikan dari *magnetostriction*.

KESIMPULAN

Sifat magnetik dari lapisan tipis GdFe dan GdFeCo adalah sangat sensitif terhadap perubahan temperatur di sekitar titik kompensasi. Proses magnetisasi yang terjadi dalam sistem lapisan tipis tersebut memunculkan dinding magnetik apabila dipasang medan luar sehingga terjadi proses rotasi dari salah satu lapisan, berakibat orientasi yang antiparalel dari komponen sesama logam peralihan dan juga logam tanah jarang. Terjadinya pergeseran gaya koersitiv lapisan ganda dari lapisan tunggalnya merupakan akibat dari keberadaan dinding pemisah tersebut. Terjadinya diskontinuitas pada lapisan dengan sifat RE+ merupakan bukti bahwa titik kompensasi bisa dicapai dengan naiknya temperatur. Arah EA yang merupakan orientasi dari magnetisasi tanpa pengaruh medan luar, sangat dipengaruhi oleh tekanan Argon, dimana perubahan arah EA terjadi dari *in-plane* ke *perpendicular*.

DAFTAR ACUAN

[1]. P. HANSEN et al, Thermomagnetic switching in amorphous RE-TM alloys, *J. Appl. Phys.* **65** (1989) 7.

[2]. H. OECHSNER et al , Sputtering, a review of some recent experimental and theoretical aspect, *Appl. Phys.* **8** (1995) 185

[3]. B.S.KRUSOR, G.A.N. CONNELL, *Thin-Film Rare Earth-Transition Metal Alloys for Magnetooptic Recording, Published in Physics of Thin-Films*, Academic Press Inc (1997).

[4]. F. STOBIECKI, TRI M. ATMONO, S,BECKER, H.ROHRMANN, K.ROELL, *J. Magnetism and Magnetic Materials*, **148** (1995) 497.

[5]. T.Kobayashi et.al, *Jap. Journal Applied Physics* **20** (1998) 2089.