Jurnal Sains Materi Indonesia
Indonesian Journal of Materials Science

Edisi Khusus Oktober 2007, hal : 232 - 236
ISSN : 1411-1098

Akreditasi LIPI Nomor : 536/D/2007
Tanggal 26 Juni 2007

SIFAT MAGNETIK *MULTILAYER* TbFe DAN PENGARUH LAPISAN PROTEKSI SiN

Tri Mardji Atmono[1], Stephan Becker[2] dan Klaus Roell[2]
[1]Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN
Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281
[2]FB.18 der Universitaet Kassel-Germany
Germany

ABSTRAK

SIFAT MAGNETIK *MULTILAYER* TbFe DAN PENGARUH LAPISAN PROTEKSI SiN. Telah dilakukan penelitian sifat magnetik dari *Multilayer* TbFe yang membentuk lapisan ganda dan pengaruh lapisan SiN yang dideposisikan sebagai *buffer* dan sebagai proteksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi pada aplikasi bahan magnet untuk medium penyimpanan data dengan sistem *MO* (*Magnetooptik*) menggunakan paduan logam tanah jarang *RE* (*Rare Earth*) dan logam peralihan *TM* (*Transitionsmetal*). Preparasi dikerjakan dengan metode *Sputtering DC* melalui teknik *face to face* pada tekanan awal vakum dalam orde 10^{-6} mbar, dilanjutkan dengan mengalirkan gas *sputter* (Argon) hingga mencapai tekanan 3 x 10^{-2} mbar. Pengukuran *Kerr Hysterisis* pada $Tb_{21}Fe_{79}$ menunjukkan bahwa lapisan ini memiliki sifat anisotropi tegaklurus bidang dengan titik kompensasi sekitar 35 ^{o}C, dimana resultan momen magnetik pada logam tanah jarang Tb dan logam peralihan Fe berlawana arahnya dan saling terkompensasi, menghasilkan megnetisasi terukur = 0. Bahwa lapisan tipis Tb dengan tebal 1,25 nm dan lapisan tipis Fe (1nm) yang membentuk *multilayer* sebanyak 110 lapisan, terjadi *coupling* antiparalel, ditunjukkan oleh pengamatan menggunakan *VSM*. Deposisi lapisan SiN dengan ketebalan 100 nm bertujuan untuk proteksi *RE*/*TM* terhadap reaksi (oksidasi) dengan udara, dan juga untuk memperbesar (*enhance*) efek *Kerr* θ_k melalui interferensi Lapisan *buffer* ini ternyata memberikan efek samping karena diffusi N sampai pada batas Tb-SiN, sehingga terjadi reaksi N-Tb. Dengan lapisan SiN, diperoleh efek pemutaran bidang polarisasi yang signifikan, sebesar 20 menit (= 0,3 ^{o}), untuk arah polar, mengindikasikan dapat diaplikasikannya sebagai lapisan pembacaan (*reading layer*) pada medium penyimpan data dengan teknik *MO*.

Kata kunci : Lapisan tipis, *Softmagnetic*, *Perpendicular anisotropy*, Magnetooptik

ABSTRACT

THE MAGNETIC BEHAVIOUR OF TbFe MULTILAYER AND THE EFFECT OF PROTECTION LAYER SiN. It has been carried out the research of magnetic properties of TbFe multilayer which performed bilayer and also the effect of SiN layer which was deposited as buffer and as protective layer. The aim of theresearch was to give the contribution on the application of RE-TM magnetic thin film as medium data storage by using MO (Magnetooptic) technique. The preparation was done using face to face tecnique of DC Sputtering in vacuum, starting at the pressure of 10^{-6} mbar, continued by flowing the sputter gas (Ar, 3 x 10^{-2} mbar). Measurement the Kerr Hysterese of multilayer $Tb_{21}Fe_{79}$ showed the perpendicular anisotropy, having compensationstemperatur of 35 ^{o}C, the magnetic momen of Tb is antiparallel to the magnetic momen of Fe,compensated each other, resulting zero of measured magnetization. VSM measuremeent showed the exchange coupling between Tb and Fe, having thick of 1.25 nm and 1 nm, respectively, which was performed as multilayer consisting of 110 layers of each Tb and Fe. Deposition of 100nm of SiN thin film was done with the aim to protection against reaction with the air and oxidation, as well as to enhance the Kerr effect through interference. This buffer layer has also the side effect because of diffusion N through the boundary Tb-SiN, followed by the reaction N-Tb. By using SiN layer, the rotation of polarizationsplane was significant, we have obtained 20 minutes (0.3^{o}) for polar direction , which is suitable for applying as readout layer in the medium data storage using MO tecnique.

Key words : Thin layer, Softmagnetic, Perpendicular anisotropy, Magnetooptik

PENDAHULUAN

Tuntutan pada sistem komputer yang aktual, terutama kecepatan akses dan besarnya kapasitas penyimpanan serta kompetisi harga, tampak semakin tinggi untuk mengimbangi kemajuan teknologi dalam segala bidang. Lapisan tipis yang bersifat *amorf* memberikan jawaban pada tuntutan kapasitas yang melimpah karena tidak dibatasi oleh *grain size* seperti pada kristal, homogenitas pada bidang/volume yang luas, sehingga pada dewasa ini telah bisa dihasilkan kapasitas sekitar 1 *GB* untuk *disc* ukuran 3,5". Material yang digunakan adalah lapisan tipis campuran logam tanah jarang dengan logam peralihan, seperti TbFe, GdCo, SmCo dan kombinasi GdTbFeCo. Oleh karena sifat tertentu yang harus dimiliki, yaitu *perpendicular anisotropy* dan gaya koersitiv yang besar pada suhu ruang, serta pemutaran bidang polarisasi yang besar, maka hanya dengan teknik preparasi tertentu *thin film magnetooptic* tersebut bisa diproduksi. Menggunakan metode *sputtering* pada frekuensi 13,56 MHz dan dengan *sputter* parameter tertentu, lapisan tipis *magnetooptic* bisa dihasilkan dalam skala besar [1].

Salah satu sifat yang penting dalam hal ini antara lain adalah *perpendicular anisotropy*. Anisotropi ditandai dengan munculnya *easy axis* (*EA*) dan *hard axis* (*HA*) pada pengukuran magnetisasi sebagai fungsi dari medan magnet terpasang. Pengukuran pada berbagai arah medan magnit ini akan menghasilkan bentuk kurva *hysterisis* yang berbeda, meskipun proses yang terjadi pada prinsipnya adalah sama, yaitu meliputi pergeseran dinding magnetik dan rotasi dari *domain*/momen magnetik.

Proses pembalikan domain magnetik ditentukan oleh tenaga *exchange* σ_w. Tenaga ini sebanding dengan akar konstanta anisotropi Ku. Pada aplikasi *thin film* sebagai medium *data-storage* diperlukan tenaga yang besar untuk mempertahankan letak magnetisasi pada arah tertentu yang sejajar dengan sumbu ringan *easy-axis* (*EA*). Rapat tenaga yang besar pada daerah 10^4-10^5 J/m^3 yang dimiliki lapisan tipis memungkinkan kestabilan data yang tersimpan dalam bentuk *bits*, terutama oleh adanya medan luar yang tidak dikehendaki, sehingga bisa dicapai usia penyimpanan > 20 tahun [1]. Tergantung dari bahan lapisan tipis serta metode preparasi, bisa dihasilkan *in-plane*- dan *perpendicular anisotropy* dengan tenaga sangat besar. Dengan sifat *perpendicular anisotropy* ini maka data yang tersimpan bisa dibaca dengan memanfaatkan efek *Kerr* polar [2].

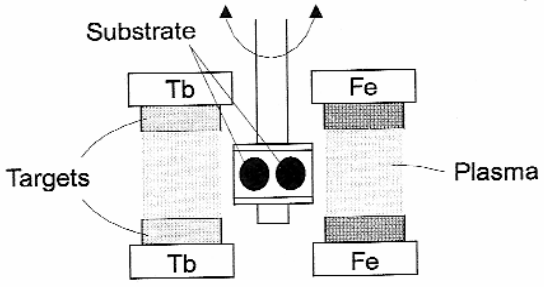
Untuk lapisan tipis yang dihasilkan dengan metode evaporasi, maka tidaklah mudah untuk memperoleh tenaga sebesar ini dengan arah magnetisasi sejajar normal. Tetapi dengan teknik preparasi tertentu serta parameter deposisi yang sangat spesifik, hal ini bisa direalisasikan, misalnya dengan memberikan medan magnit pada saat berlangsungnya proses kondensasi partikel di atas substrat. Bisa dicapai pula dengan menggunakan substrat yang memiliki koefisien pemuaian yang berbeda secara signifikan dengan lapisan yang dihasilkan, sehingga melalui efek *magnetosriction* akan diperoleh *preferential direction*. Arah ini bisa sejajar dengan normal bidang lapisan ataupun tegak lurus padanya.

Meskipun *disk magnetooptic* sudah beredar di pasaran, tetapi penelitian dalam bidang ini masih sangat pesat dilakukan terutama untuk tujuan peningkatan kapasitas (salah satu solusinya adalah teknik *MSR* [1,2] dan kestabilan *domain* magnetik, agar usia data tersimpan bisa lebih lama dan juga untuk meningkatkan *Signal to Noise ratio*. Untuk memperoleh *S/N-ratio* yang besar , maka salah satu teknik adalah dengan memberikan lapisan SiN agar didapatkan efek pemutaran bidang polarisasi yang cukup besar (20 menit hingga 30 menit) . Disamping juga untuk tujuan sebagai *protective layer* untuk menghindari reaksi dengan udara. Namun efek lain dari lapisan SiN adalah terjadinya difusi atom-atom N, mengakibatkan terjadinya reaksi N-Tb. Tujuan dari pembuatan *multilayer* adalah agar lapisan tipis *MO* memiliki tenaga anisotropi yang besar, sehingga kestabilan *domain* magnetik akan selalu terjaga dan bebas dari pengaruh medan magnet luar.

Makalah ini melaporkan tentang hasil penelitian *multilayer* TbFe yang membentuk sistem lapisan ganda, serta pengaruh lapisan SiN, dengan tujuan untuk memberikan kontribusi pada bidang industri penyimpanan data dengan teknik *MO*.

METODE PERCOBAAN

Preparasi lapisan tipis dikerjakan dengan metode *Sputtering DC* melalui teknik *face to face* pada tekanan awal vakum dalam orde 10^{-6} mbar. Parameter *sputtering* meliputi daya (100W), tekanan gas *sputter* (Ar, $3x10^{-2}$ mbar), jarak elektroda (substrat-target, 20mm) dan waktu deposisi yang menentukan ketebalan lapisan. Bahan target, berupa material Tb dan Fe dipasang pada katoda untuk memperoleh *thin film* TbFe di atas substrat pada anoda yang dipasang berhadapan dengan material target (Gambar 1).



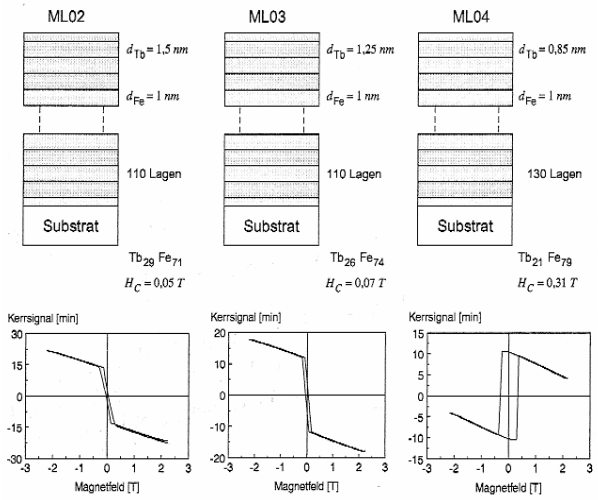
Gambar 1. Konstruksi target Tb, Fe dan substrat (anoda) pada *sputtering face to face*.

Karakterisasi dilakukan dengan pengamatan pemutaran bidang polarisasi menggunakan *Kerrmagnetometer* dan kurva magnetisasi dengan *Vibrating Sample Magnetometer*. Kandungan (komposisi) Tb dan Fe ditentukan dengan *EDAX*, dan ketebalan dengan Stylus *DEKTAK*.

Edisi Khusus Oktober 2007, hal : 232 - 236
ISSN : 1411-1098

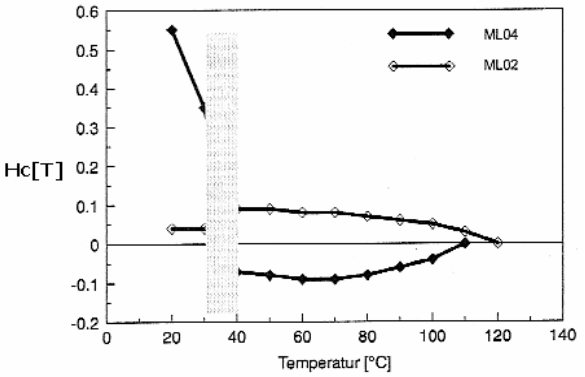
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 ditampilkan hasil kurva histerisis dengan menggunakan *Kerrmagnetometer*. Dengan teknik pengamatan sedemikian sehingga vektor E sejajar lapisan tipis maka akan terdeteksi komponen magnetisasi yang tegaklurus bidang (*perpendicular anisotropy*), karena cahaya laser yang dilewatkan pada polarisator (*Wohl Aston*) diarahkan pada *multilayer* TbFe, lalu dipantulkan menuju analisator dan kemudian melewati *Faraday Modulator*. Terjadinya pemutaran bidang polarisasi akibat interaksi antara vektor E dengan magnetisasi dari lapisan tipis B, dikembalikan ke arah semula oleh modulator dengan cara mengalirkan arus searah, sampai terdeteksi signal yang simetris mengapit sumbu X. Dengan demikian efek *Kerr* adalah sebanding dengan besarnya arus *DC* ini [3].



Gambar 2. Hasil pengamatan kurva histerisis dengan menggunakan *Kerrmagnetometer*.

Dari Gambar 2, tiga sampel ML02, ML03 dan ML04 terlihat sifat *perpendicular anisotropy*. Untuk ML02 dan ML03 menunjukkan lapisan RE+, sedangkan sifat TM+ ditunjukkan oleh ML04. Komposisi yang diperoleh dengan menggunakan *EDX* tersebut tentunya dilihat berdasarkan besarnya diameter *spot* sinar-X yang diarahkan pada sampel, dan juga kedalamannya (*depth*) dalam menembus *multilayer*. Oleh karena atom-atom Fe (dan juga Tb) mendifusi melewati *boundaries* Tb-Fe dan Fe-Tb, maka teramati komposisi paduan TbFe, yaitu masing-masing $Tb_{29}Fe_{71}$ untuk ML02, $Tb_{26}Fe_{74}$ untuk ML03 dan $Tb_{21}Fe_{79}$ untuk ML04. Besarnya gaya koersitiv, masing-masing adalah adalah 0,05 T dan 0,07 T serta 0,31. Sedangkan pemutaran bidang polarisasi berturut-turut sebesar sebesar 15 menit, 11 menit dan 12 menit. Dengan kandungan Tb sebesar 29% untuk ML02 dan 26 % untuk ML03, maka magnetisasi *multilayer* $Tb_{29}Fe_{71}$ dan $Tb_{26}Fe_{74}$ didominasi oleh kontribusi momen magnetik dari komponen logam tanah jarang Tb, melampaui komposisi kompensasi.



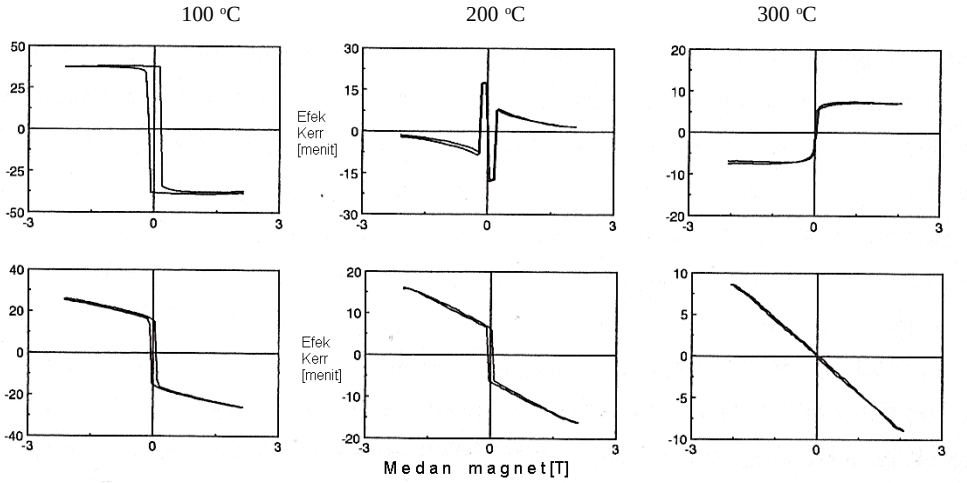
Gambar 3. Hasil pengamatan gaya koersitiv sebagai fungsi suhu.

Pada Gambar 3 ditampilkan hasil pengamatan gaya koersitif *schaltfield* sebagai fungsi dari suhu.Tampak bahwa pada suhu antara 30 °C sampai 40 °C, teramati diskontinuitas untuk lapisan ML04. Disekitar titik kompensasi, magnetisasi Ms dari kedua momen magnetik (3d dan 4f) saling berlawanan arah dan sama besarnya, sehingga Ms=0. Di sekitar Tc ini, Hc berbanding terbalik terhadap Ms [4]. Hal tersebut berlaku untuk lapisan dengan sifat TM+. Sedangkan untuk RE+, maka tidak teramati adanya diskontinuitas, seperti tampak pada ML02.

Meskipun TM+ tidak memiliki kompensasi kompensasi, tetapi untuk multilayer ini dijumpai titik kompensasi T_{comp}. Kemungkinan penyebabnya adalah perbedaan kandungan untuk setiap *depth*, dan juga adanya diffusi atom-atom Tb melewati *boundaries* Fe-Tb.Setelah mencapai T_{com} maka pada kenaikan suhu berikutnya, masih diperoleh Hc yang negatif, artinya merupakan kontribusi dari komponen logam peralihan Fe, sehingga akhirnya mencapai suhu *Curie*, menuju sifat paramagnetik. Untuk ML04 diperoleh Tc=115 °C, sedangkan untuk ML02 didapatkan Tc= 120 °C.

Kedua lapisan tersebut membentuk *coupling* antiparalel (*exchange coupling*), dimana magnetisasi Ms saling bertolak belakang, sehingga tepat untuk diaplikasikan sebagai medium penyimpan data dengan teknik *direct overwrite* (*DOW*). Lapisan dengan titik kompensasi ML04 berfungsi sebagai lapisan penyimpan, sedangkan lapisan dengan sifat TM+ adalah sebagai lapisan referensi (ML02) [5,6].

Penelitian selanjutnya adalah mengamati pengaruh lapisan SiN terhadap sifat lapisan campuran logam tanah jarang dan logam peralihan di atas. Pelapisan *buffer* SiN bertujuan untuk menaikkan efek pemutaran bidang polarisasi (*enhance*), sekaligus untuk proteksi lapisan TbFe terhadap reaksi dengan udara. Dengan menggunakan sistem *sputtering* yang sama, *face to face*, dideposisikan SiN layer dengan ketebalan 100 nm, dari kedua sisi *multilayer*, yaitu langsung di atas substrat dan juga di atas *multilayer* (langsung dalam kontak dengan udara). Bahan target yang digunakan adalah Si dengan kemurnian tinggi (>99%). Dengan menggunakan



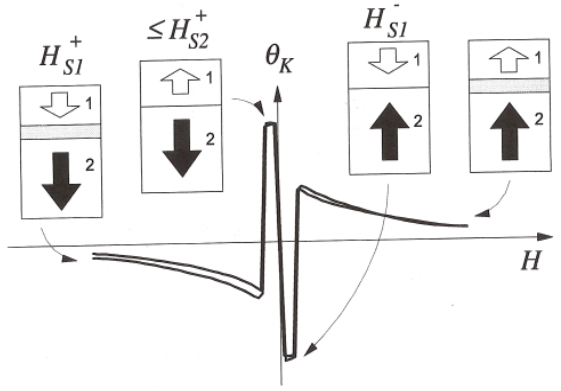
Gambar 4. Hasil pengukuran sifat magnetik dari *multilayer* TbFe yang dilapisi SiN

gas N_2 yang dialirkan selama deposisi, maka akan terjadi proses *sputtering* reaktif untuk pembentukan lapisan SiN. Perbandingan tekanan Ar/N_2 adalah $4 \times 10^{-3}/4 \times 10^{-3}$ mbar. Untuk pengamatan sifat magnetik, dilakukan pengamatan dengan menggunakan *Kerrmagnetometer*, dideteksi dari dua arah, yaitu arah substrat dan arah lapisan, pada suhu 100 °C, 200 °C dan 2200 °C. Hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 4.

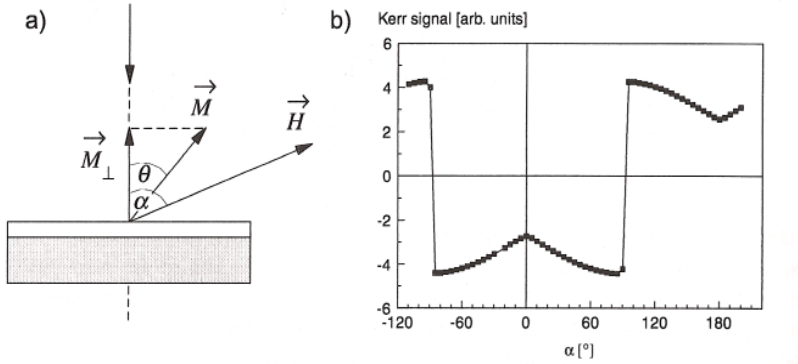
Pada pengamatan dari arah substrat, tampak bahwa kurva histerisis mengandung sinyal diamagnetik, terindikasi dalam bentuk koefisien arah yang negatif. Sedangkan untuk arah lapisan, hanya ada sedikit komponen diamagnetik dan telah di kompensasi dengan sinyal *DC* yang sesuai, sehingga dihasilkan Gambar 4 bagian atas.

Pada suhu 100 °C, tidak muncul adanya modifikasi kurva histerisis, satu sifat RE+ dari *multilayer*, dengan gaya koersitiv sebesar 0,3 T. Gambar 5 ditampilkan kejelasan kurva histerisis yang diukur dari arah lapisan pada suhu 200 °C. Indeks 1 menyatakan momen magnetik dari Fe, sedangkan 2 adalah dari Tb. Untuk posisi paling kanan dan paling kiri pada medan magnit sekitar 2 T, kedua momen magnetik sejajar satu terhadap lainnya.

Tetapi pada medan kecil sekitar 200 gauss, terjadi pembalikan momen magnetik, sehingga terjadi *coupling* anti paralel (*exchange coupling*). Pada medan yang lebih tinggi sekitar 300 gauss, terjadi kenaikan magnetisasi terukur, baik pada medan negatif maupun medan positif. Sebagai akibatnya, teramatinya kurva histerisis tiga lapis, simetris pada sumbu $(H-\theta_k)$, karena kemungkinan timbulnya *exchangecoupling* yang kuat, terjadi pembalikan momen magnetik, baik dari kompone *RE* disekitar peralihan medan magnet (negatif ke positif dan sebaliknya) dan *TM* pada medan magnet posistif dan negatif.



Gambar 5. Kurva histerisis pada suhu 200 °C, terjadinya pembalikan momen magnetik pada masing-masing komponen.



Gambar 6. Pengamatan dengan *Kerr Polar* untuk membuktikan reaksi N-Tb

Edisi Khusus Oktober 2007, hal : 232 - 236
ISSN : 1411-1098

Selanjutnya dilakukan pengamatan efek pemutaran bidang polarisasi sebagai fungsi dari sudut alfa antara bidang lapisan tipis dengan normal (polar). Hasil pengamatan yang ditampilkan pada Gambar 6 membuktikan berlangsungnya reaksi N-Tb. Kontribusi efek *Kerr* dari logam peralihan lebih besar daripada sumbangan dari logam tanah jarang [6]. Oleh karena diperoleh kurva yang tidak simetris, maka kemungkinan sebagian dari momen magnetik Fe tidak lagi berada dalam posisi tegaklurus bidang, karena sebagian ikatan dengan Tb telah lepas, bereaksi dengan N. Jadi meskipun lapisan SiN memberikan *enhance* pada pemutaran bidan polarisasi, tetapi efek lainnya adalah terjadinya reaksi N-Tb.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan *sputtering DC face to face* telah berhasil dibuat *multilayer* TbFe yang memiliki sifat sebagai lapisan ganda. Untuk kandungan Tb sebesar 26% dan 29% yang membentuk masing-masing $Tb_{26}Fe_{74}$ serta $Tb_{29}Fe_{71}$, terbentuk lapisan dengan sifat RE+, jauh dar komposisi kompensasi pada suhu ruang, sehingga tidak menghasilkan titik kompensasi. Sedangkan lapisan $Tb_{21}Fe_{79}$ yang bersifat TM+, tetapi memiliki titik kompensasi, kemungkinan disebabkan oleh kandungan Tb yang tidak sama pada seluruh kedalaman (*depth*), dan adanya diffusi atom-atom Tb melewati batas-batas (*boundaries*) *multilayer*. Difusi atom-atom Tb juga mengakibatkan terjadinya reaksi dengan N yang merupakan lapisan pelindung pembentuk senyawa SiN. Efek dari pembentukan N-Tb adalah anomali kurva histerisis.

Sebagai akibatnya, teramatinya kurva histerisis tiga lapis, simetris pada sumbu ($H\text{-}\theta_k$), karena kemungkinan timbulnya *exchangecoupling* yang kuat, terjadi pembalikan momen magnetik, baik dari komponen *RE* disekitar peralihan medan magnet (negatif ke positif dan sebaliknya) dan TM pada medan magnet posistif dan negatif. Terjadinya *exchangecoupling* antara lapisan Tb dan Fe yang membentuk lapisan ganda, mengindikasikan dapat diaplikasikannya *multilayer* TbFe sebagai medium penyimpan data dengan teknik *direct overwrite* (*DOW*). Meskipun efek posistif dari lapisan SiN adalah perbesaran yang signifikan dari pemutaran bidang polarisasi, tetapi pengamatan dengan efek *Kerr* sebagai fungsi dari sudut antara normal dengan lapisan tipis membuktikan terjadinya reaksi N-Tb.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Alexander von Humboldt Foundation (AvH) Jerman. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada AvH Stiftung. Juga kepada Kepala BATAN yang telah mengizinkan penulis untuk mengikuti program Postdoc di Jerman.

DAFTAR ACUAN

[1]. G. KIENEL, et all., *Dünnschichtteechnologie*, VDI-Verlag, Düsseldorf, (2003)

[2]. K.ZHANG, T.ZHAO, H.FUJIWARA, *J. Appl. Physics*, **98** (11) (2001) 6910-6912

[3]. T.ATMONO, F.STOBIECKI, K.RÖLL, *Forschungsbericht an Fa.Kalle (Hoecst)*, (1990)

[4]. K.L. CHOPRA, *Thin Films Phenomena*, Robert E.KriegerPublishing Company, New York, (1998)

[5]. T.ATMONO, RÖLL, K., *Forschungsbericht an Alexander von Humboldt Stiftung*, Post Doc, Germany, (2005)

[6]. RöLL, K., *Progress in Magnetooptical Data Storage*, Magnetic Thin Films and Industrial Applications (Ed.U. HARTMANN), Springer Series Material Science, (2002)