

EFEK GMR DARI SISTEM SPIN VALVE Au/Fe₂O₃/ NiFe/Cu/Co YANG TELAH DIIMPLANTASI DENGAN ION Al

Tri Mardji Atmono, Yunanto, Lely Susita

Puslitbang Teknologi Maju - Batan

ABSTRAK

EFEK GMR DARI SISTEM SPIN VALVE AU/Fe₂O₃/NiFe/Cu/Co YANG TELAH DIIMPLANTASI DENGAN ION Al. Telah dilakukan preparasi dan karakterisasi sistem lapisan tipis multilayer dari bahan logam peralihan yang bersifat magnetik Co dan logam konduktor Cu, membentuk sistem lapisan tipis Au/Fe₂O₃/NiFe/Cu/Co. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh efek GMR (Giant Magnetoresistance) yang optimal dari sistem lapisan tipis yang membentuk multilayer dan spin-valves sehingga dapat diaplikasikan sebagai bahan sensor magnet. Untuk memperoleh efek GMR yang signifikan pada daerah linier, telah pula dilakukan implantasi dengan ion Y, Al, O. Preparasi lapisan multilayer dilakukan dengan metode sputtering pada frekuensi radio 13,56 MHz, sedangkan karakterisasi meliputi kandungan unsur, pengukuran besaran magnetik dan pengukuran tahanan listrik yang merupakan realisasi efek GMR. Magnetoresistance sangat dipengaruhi oleh adanya medan luar H sebesar 50 gauss yang dipasang pada saat pertumbuhan sample. Gejala magnetoresistance yang teramati merupakan GMR-ratio yang disebabkan oleh hamburan (scattering) dari pembawa muatan penghantar/elektron pada batas antar lapisan AFM/FM. Meskipun diperoleh efek GMR yang kecil (2%...3%) setelah implantasi menggunakan ion Al, tetapi telah tercapai sensitivitas yang memadai pada medan kecil, mengindikasikan kemungkinan aplikasi multilayer tersebut untuk bahan sensor magnet.

ABSTRACT

GMR-EFFECT OF THE SPIN-VALVE SYSTEM Au/Fe₂O₃/NiFe/Cu/Co implanted by Al-IONS. The preparation and characterization of the system thin film multilayer from the magnetic transition metal Co and conductor Cu to be formed Au/Fe₂O₃/NiFe/Cu/Co have been carried out. The aim of the research was to achieved the optimal GMR effect of the multilayer in form of Spin-Valves, so can be applied as magnetic sensor. To get the GMR effect which is significant and also linear, the thin film was then implanted by ions Y and Al. The preparation of the multilayer was carried out by means of sputtering method at the radio frequency of 13.56 MHz, while the characterization were the analyzing of the element content, the magnetic measurement and the measurement of electrical resistance, which are the realization of GMR-effect. The results showed the GMR effect, which is significant in the low field (5%...6%). The measured Magnetoresistance effect was the GMR-ratio caused by scattering of electron at the boundaries between the films. Although the GMR effect after implantation was small, but the sensitivity was significant in the low field, which indicating the possibility in applying those multilayer for the magnetic sensor.

PENDAHULUAN

Preparasi bahan baru dalam bentuk lapisan tipis (*thin film*) menggunakan teknik *sputtering* merupakan salah satu cabang *material science* (ilmu bahan) dengan keunggulan aplikasi yang beragam, karena sifat fisika dan kimia dari lapisan tipis yang bisa dikontrol ataupun dioptimasi melalui parameter sputtering. Salah satunya adalah untuk aplikasi dalam bidang sensor magnet. Dengan memanfaatkan efek perubahan tahanan listrik dari lapisan tipis oleh adanya medan magnet luar, maka medan magnet tersebut bisa diukur dengan cara kalibrasi resistansi sebagai fungsi medan (pada daerah linier).

Giant Magnetoresistance (GMR) adalah efek perubahan tahanan listrik suatu bahan penghantar (magnetik/non magnetik) oleh adanya medan magnet luar. Gejala/efek yang tampaknya sangat sederhana ini ternyata tidak mudah untuk dimengerti, karena melibatkan interaksi *exchange coupling* serta teori listrik dan magnetik yang sangat kompleks^[1]. Aplikasi dari gejala ini antara lain adalah untuk pengukuran medan magnet, sebagai *head* pada sistem *data storage*^[2], pengukuran putaran mesin dll. Dalam hubungannya dengan logam peralihan yang bersifat magnetik dan sekaligus sebagai penghantar, efek dari GMR memegang peranan yang sangat penting karena perubahan tahanan listrik yang relatif besar, terutama pada *permalloy* (3...8%). Namun

pelaksanaan teknis untuk aplikasi tidaklah mudah, dalam hal ini diperlukan lapisan yang dibuat (preparasi, deposisi) secara khusus karena harus menghasilkan lapisan tipis dengan sensitivitas yang tinggi pada medan rendah.

Pada sistem lapisan ganda atau *multilayer*, elektron dengan *spin up* akan diteruskan oleh lapisan dengan arah magnetisasi vertikal ($M\uparrow$), sehingga *mean-free-path* akan bertambah, tetapi akan dihamburkan oleh lapisan dengan arah magnetisasi yang berlawanan ($M\downarrow$). Gejala demikian akan menimbulkan efek perubahan tahanan listrik karena muatan penghantar terhamburkan “bolak-balik” di dalam sistem lapisan tipis, sebagian kecil saja yang diteruskan. Sehingga gejala GMR tersebut akan maksimal bila sistem lapisan saling antiparalel (*antiferromagnetic-coupling*)^[1]. Realisasi dari GMR tersebut, yang bisa diaplikasikan sebagai sensor magnet, akan teramati nyata dalam suatu *spin-valves*. Sistem ini tersusun dari lapisan ferro-magnetik FM (contohnya Fe, Ni, dan compound-nya) yang terikat oleh lapisan antiferromagnetik AFM (FeO, NiO) serta lapisan FM sebagai *free layer* yang dipisahkan melalui *spacer* (Cu, Ag). Beberapa lapisan *spin-valves* bisa digabung untuk membentuk *multilayer* agar diperoleh efek GMR yang besar. Untuk teknik sputtering, sistem ini hanya bisa dibuat dengan parameter tertentu saja, terutama diperlukan UHV (*ultra high vacuum*) dan tegangan *self-bias*, tekanan argon dan *flow rate* oksigen (pembentukan AFM) untuk mendapatkan *high purity thin film*^[2]. Oleh adanya “perlakuan” irradiasi ataupun implantasi dengan menggunakan ion-ion Al, He, Y, sifat magnetik, *exchange coupling* antara lapisan AFM/FM dan juga sifat GMR dapat dimanipulasi sedemikian sesuai dengan tujuan aplikasi^[3,4].

Hamburan spin yang terjadi dalam material magnetik adalah hamburan *spin flip* (*spin-flip scattering*) dan hamburan potensial (*potential scattering*)^[3]. Kedua hamburan tersebut menyebabkan perbedaan jumlah rapat keadaan (*state density*) elektron konduksi di kedua “kanal” *spin up* dan *spin-down*. Pengotor non magnetik yang “ditanam” melalui proses implantasi dapat memberikan sumbangan pada resistansi, karena akan menimbulkan hamburan potensial pada elektron konduksi. Oleh karena kontribusi terbesar transport arus listrik pada logam adalah elektron-elektron pada daerah energy Fermi E_F .

Parameter yang menentukan adalah rapat keadaan (*state density*) sebagai fungsi dari tenaga^[4]. Pergeseran dari pita s pada umumnya diabaikan karena pengaruhnya yang tidak begitu berpengaruh terhadap *occupationsnumber*. Bila orientasi dari spin adalah paralel terhadap magnetisasi maka

terjadi pergeseran pita ke arah tenaga yang lebih rendah, sedangkan orientasi antiparalel menyebabkan pergeseran ke tenaga yang lebih tinggi. Dengan demikian terjadi perubahan yang besar pada *occupationsnumber* pada daerah tenaga Fermi E_F , ditandai dengan perubahan bentuk/form dari pita d , sehingga tentu saja akan mengubah sifat konduktivitas dari logam. Dengan demikian perubahan *state density* tersebut oleh adanya hamburan akibat ion pengotor melalui proses implantasi akan memberikan pengaruh positif pada efek GMR.

Dengan dosis ion antara 10^{14} - 10^{17} ion/cm², tenaga 100-200 keV dan dengan menggunakan jenis ion tertentu yang sesuai dengan sistem lapisan, dengan teknik implantasi memungkinkan bisa diperolehnya efek perubahan tahanan listrik yang optimal terutama untuk medan rendah, sesuai dengan daerah linieritas dari *free layer*.

Penelitian lapisan tipis yang bersifat magnetik dan non magnetik beserta aplikasinya telah sangat pesat kemajuannya^[2]. Salah satunya adalah untuk aplikasi dalam bidang sensor magnet. Sebelum ditemukannya lapisan tipis magnetik dengan sifat GMR, pengukuran medan magnet dilakukan dengan menggunakan batang semi konduktor kristal hall, dengan menggunakan prinsip gaya Lorentz yang besarnya adalah sebanding dengan kuat medan. Sensor magnet semacam ini tidak praktis karena harus menggunakan sumber arus, dan juga ketepatannya tidak bisa diandalkan karena adanya interaksi antara arus dan medan. Bila magnetisasi lapisan tipis ditentukan oleh medan luar, maka lapisan tipis magnetik yang memiliki sifat GMR bisa difungsikan sebagai sensor medan magnet lewat pengukuran tahanan.

Dua mekanisme/proses untuk mengukur/ menentukan medan luar adalah bahwa medan terpasang menentukan arah dan besar magnetisasi *thin film* dan kemudian magnetisasi menentukan besarnya resistivitas/resistansi. Berdasarkan teori *scattering*, elektron dengan *spin up* akan diteruskan oleh lapisan dengan arah magnetisasi vertikal, sehingga *mean-free-path* akan bertambah, tetapi akan dihamburkan oleh lapisan dengan arah magnetisasi yang berlawanan. Gejala demikian akan menimbulkan efek terhadap tahanan listrik karena muatan penghantar terhamburkan “bolak-balik” di dalam sistem lapisan tipis, sebagian kecil saja yang diteruskan. Efek GMR adalah besar bila sistem lapisan saling antiparalel (*antiferromagnetic-coupling*)^[3]. Kemungkinan akan bertambah apabila digunakan Si (100) sebagai substrat dan menggunakan Tantalum sebagai lapisan penutup. Realisasi dari GMR tersebut akan teramati nyata dalam suatu *system pseudo/pseudo spin-valves*^[3].

Dalam suatu sistem *pseudo-spin valves*, dikenal dua besaran, yaitu gaya koersitif (contohnya pada lapisan NiFe) dan *H-pinning* dari NiFe yang terikat pada lapisan antiferromagnetik (misalnya NiO). Sistem ini hanya bisa dibuat dengan parameter sputtering tertentu saja dan stabil pada daerah temperatur yang juga tertentu. Jadi oleh sebab timbulnya perubahan tahanan akibat adanya medan luar, maka sistem tersebut bisa diaplikasikan sebagai sensor magnet tanpa menggunakan arus seperti pada metoda lama Hall, terutama untuk pengukuran medan kecil (beberapa Oe sampai puluhan Oe), tergantung dari daerah linearitas. Kemungkinan sensitivitas dari sensor magnet tersebut akan bisa dinaikkan dengan cara implantasi atau irradiasi pada sistem *pseudo-spin-valves* dan juga pada sistem *multilayer*³¹.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan sistem lapisan tipis yang tersusun dari lapisan penghantar non magnetik Cu yang berfungsi sebagai *spacer* dan lapisan yang bersifat konduktor magnetik Co. Kedua lapisan ini membentuk sistem *multilayer* Au/Fe₂O₃/Cu/Co. Kemudian pada sistem tersebut dilakukan karakterisasi magnetik dan elektrik untuk mengetahui sifat GMR. Dari hasil penelitian diharapkan diperolehnya pengetahuan tentang sifat GMR dari *multilayer* yang bisa diaplikasikan sebagai sensor medan magnet, terutama untuk medan rendah.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

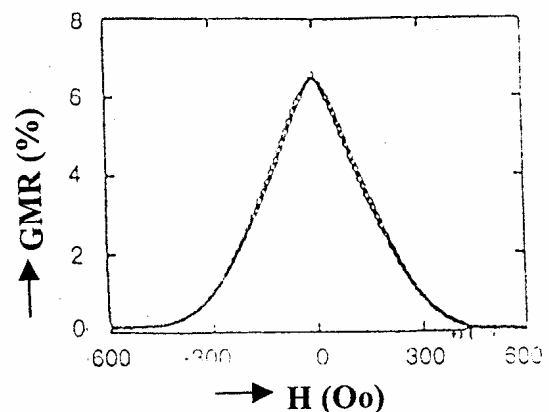
Lapisan tipis pada penelitian ini dihasilkan dengan metoda sputtering pada frekuensi radio 13,56 MHz. Frekuensi ini dipakai karena telah disepakati secara internasional dan juga agar tidak mengganggu komunikasi, disamping juga merupakan frekuensi optimal agar plasma yang terbentuk diantara elektroda dapat menghasilkan tegangan self-bias maksimal pada katoda. Secara umum semua material target ditempatkan pada katoda yang bertegangan negatif (*self-bias*) sehingga ion-ion argon (+) menembaknya, sedangkan substrat pada anoda (*ground*) tempat penyusun/ partikel lapisan tipis dikumpulkan. Untuk meng-optimalkan daya dari generator RF yang digunakan pada proses pembentukan lapisan tipis, digunakan *matching-box* yang berfungsi untuk menyesuaikan impedansi generator dengan *sputter-chamber*.

Preparasi Cu/Co-thin film memerlukan 2 bahan material target Cu dan Co, masing-masing dengan diameter 75 mm, yang ditempatkan diatas 2 buah katoda terpisah, sedangkan untuk lapisan Fe₂O₃ diperlukan target Fe oksigen. Untuk lapisan

Au diperlukan pula bahan target dari material Au dengan diameter 75mm. Oleh karena posisi substrat (ditempatkan pada anoda) harus berganti-ganti di atas material target Cu dan Co, maka diperlukan pemutar yang tidak akan mengubah kondisi kevakuman *plasma-chamber*. Sedangkan untuk pembuatan lapisan NiFe digunakan target permalloy NiFe. Derajat kevakuman dengan menggunakan pompa rotary dan *turbo molecular pump* mencapai orde 10⁻⁶ mbar. Sebagai sensor tekanan digunakan *gauge*, pirani dan penning, sedangkan *sputter-gas* adalah Argon dengan kemurnian 99,998 %. Untuk memperbaiki sifat linieritas GMR pada medan kecil maka dilakukan implantasi ion Al dengan mesin implantor ion, dosis 5x10¹⁷.ion/cm², energi 60 keV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem lapisan tipis membentuk *spin valves* ataupun *multilayer* yang dapat diaplikasikan sebagai sensor medan magnet, sangat bergantung dari kepekaan lapisan spacer Cu dalam hubungannya dengan sifat GMR, ditentukan terutama oleh ketebalannya. Untuk membentuk susunan tersebut sangat diperlukan parameter sputtering yang sangat peka, seperti ketebalan lapisan dan tekanan argon. Seperti terlihat pada Gambar 1, efek GMR sebagai fungsi dari medan luar menunjukkan sifat simetris terhadap sumbu Y, mengindikasikan suatu sistem *multilayer* yang terpadu, dimana sifat-sifatnya saling melengkapi antara sifat lapisan Cu dengan lapisan Co serta NiFe. Dengan parameter sputtering terpenting, yaitu tekanan awal 10⁻⁶ mbar dan tekanan gas Argon 6x10⁻² mbar serta impurity bahan material target yang kecil, maka diperoleh efek perubahan tahanan listrik yang signifikan dari *multilayer* Au/Fe₂O₃/NiFe/Cu/Co yang telah diimplantasi dengan Al, memberikan efek GMR yang besar dan sensitivitas cukup besar untuk medan rendah.



Gambar 1. Hasil pengukuran gejala GMR lapisan multilayer Au/Fe₂O₃/Cu/Co sebagai fungsi dari medan magnet luar (implantasi Al).

Dari Gambar 1 diperoleh perubahan tahanan listrik maksimal terjadi pada medan 200 G, mencapai hampir 6%. Secara kuantitatif, besarnya perubahan ini sudah signifikan, karena pada system *pseudo* maupun *pseudo spin valves* dari permalloy maupun Co, diperoleh paling besar 5%^[4]. Namun secara kualitatif daerah linearitas pada medan rendah belum terpenuhi. Untuk kuat medan diatas 750 G, tampak tidak muncul lagi perubahan tahanan, artinya diperoleh kejenuhan, hanya *noise* yang kemungkinan berasal dari elektronik. Ripple dari sumber arus yang dikirim ke sample merupakan sumber *noise* yang potensial, meskipun telah digunakan *Lock-in-Amplifier* sebagai filternya.

Timbulnya perubahan resistansi tersebut kemungkinan disebabkan oleh hamburan partikel bermuatan (elektron-elektron penghantar) yang bergantung dari orientasi spin, yaitu *spin up* (\uparrow) dan *spin down* (\downarrow), memberikan efek yang berbeda pada hamburan. Oleh adanya medan magnet luar yang menyebabkan *exchange-coupling*, terjadi pergeseran state tenaga yang tergantung dari arah spin. Arah dari pergeseran tersebut adalah saling berlawanan untuk masing-masing orientasi spin (*up* dan *down*). Besarnya pergeseran ini adalah dalam orde eV pada logam peralihan (Cu, Co, Ni, Fe) Banyaknya state yang berada dibawah *Fermi level* untuk elektron dengan *spin down* akan lebih besar, menyebabkan state tenaga bebas untuk spin \downarrow akan lebih banyak.

Oleh karenanya keboleh jadian hamburan untuk *spin up* adalah lebih kecil dibanding *spin down*. *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 divariasikan/dikontrol dengan mengubah komposisi/kandungan dari komponen logam peralihan. Suhu Curie bisa dikendalikan melalui kontrol kandungan Co^[2].

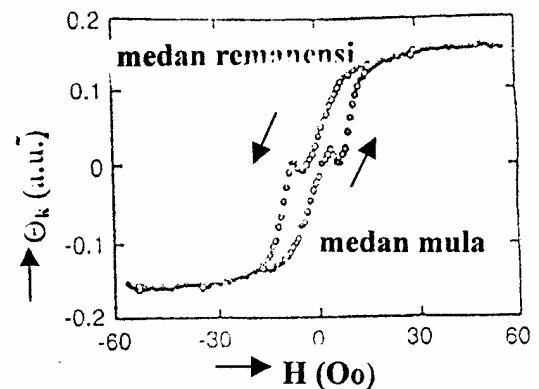
Pengamatan histeresis, struktur mikro, pengukuran efek GMR sangat diperlukan untuk mengetahui karakter dari masing masing lapisan dan dari sistem yang terintegrasi tersebut. Pada Gambar 2 ditunjukkan hasil pengukuran kurva histerese, diukur dengan memanfaatkan efek Kerr.

Untuk aplikasi bidang sensor magnet maka diperlukan syarat *in-plane anisotropie*. Tampak dari Gambar 2 bahwa lapisan yang membentuk *spin-valves* tersebut memiliki *easy axis* sejajar bidang, artinya *hard axis* terletak sejajar normal

bidang. Lapisan tipis pada umumnya mempunyai sifat magnetik anisotrop dimana E.A dari magnetisasi bisa terletak sejajar ataupun tegak lurus bidang. Pada lapisan tipis terjadinya anisotropi tergantung dari medan demagnetisasi (*demagnetizing field*) yang besarnya adalah

$$H_d = -N M_s \quad (1)$$

dengan N adalah tetapan demagnetisasi, M_s adalah magnetisasi jenuh. Harga N sangat bergantung dari bentuk cuplikan. Untuk lapisan tipis $N = 4\pi$ pada arah tegak lurus bidang ($H_d = -4\pi M_s$).



Gambar 2. Kurva histerese, diamati dengan memanfaatkan efek Kerr.

Medan demagnetisasi pada arah tegak lurus bidang pada umumnya sangat besar ($\propto 8.10^6$ A/m) sehingga magnetisasi terletak sejajar bidang. Tetapi apabila M_s sangat kecil maka bisa terbentuk E.A \perp bidang. Hal tersebut terjadi untuk GdCo bila konsentrasi Gadolinium terletak antara 20 ... 30%^[3], yaitu disekitar titik kompensasi. Ukuran dari besarnya anisotropi adalah kuat medan anisotropi :

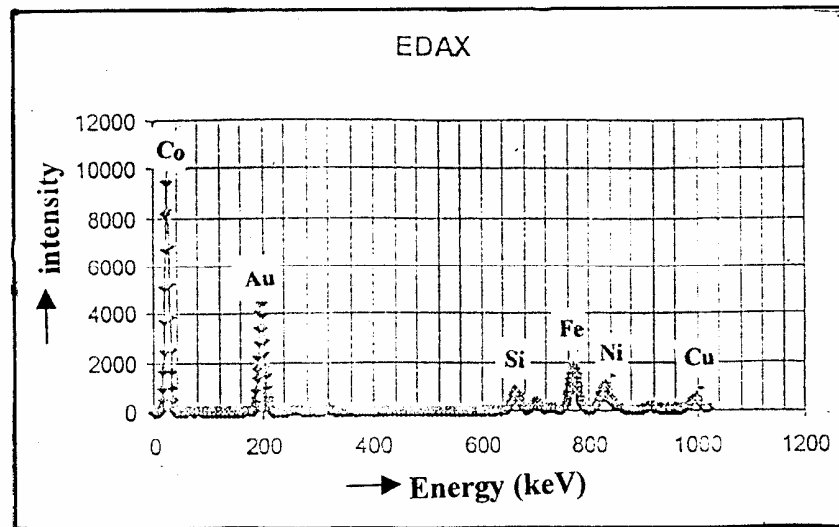
$$H_k = \frac{2 K_u}{M_s}$$

dengan K_u adalah tetapan anisotropi sumbu tunggal.

Exchange coupling antara kedua lapisan sangat menentukan kurva GMR ($\Delta R/R$) vs. B(O) ataupun H(Oe). Hal ini terutama berlaku untuk sistem multilayer yang memang sangat kompleks. Parameter yang terlibat dalam proses ini terutama adalah tegangan RF dan tegangan *self-bias* pada katoda. Besarnya tegangan ini menentukan komposisi atau kandungan unsur tertentu dalam lapisan tipis. Pada Gambar 3 ditunjukkan hasil pengamatan dengan menggunakan EDAX. Berdasar-kan sinar X karakteristik yang dipancarkan oleh unsur yang terkandung dalam lapisan

multilayer, selain identifikasi unsur/jenis unsur atas dasar tenaga sinar X tersebut maka bisa dihitung

pula besarnya persentasenya (*counts*) dengan menggunakan *software* yang telah ada.



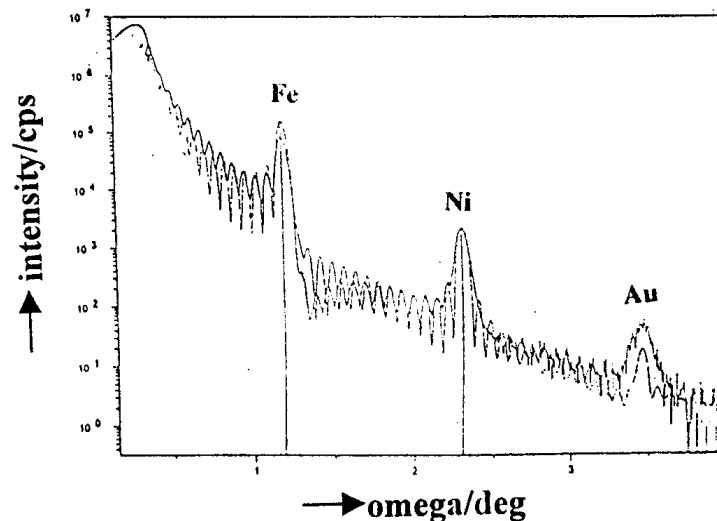
Gambar 3. Hasil pengamatan multilayer dengan menggunakan EDAX.

Mekanisme terjadinya efek GMR pada struktur multilayer adalah hamburan *spin-dependent* pada permukaan antara lapisan magnetik dan non magnetik dan juga didalam lapisan magnetik sendiri. Demikian pula efek GMR pada lapisan granular, sangat erat hubungannya dengan reorientasi momen magnetik cluster, dan pada umumnya diinterpretasikan sebagai bagian dasar dari hamburan *spin-dependent*^[2], terjadi baik pada *magnetic cluster* maupun pada batas FM/AM.

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada Gambar 1 dan 2, serta tinjauan tentang exchange coupling, maka lapisan tipis multilayer yang telah diimplantasi dengan ion Al ini telah mengindikasikan untuk aplikasi dibidang sensor magnet pada daerah linier 0-200 gauss^[1,2,6].

Namun demikian masih diperlukan komponen elektronik untuk melengkapi pembuatan prototype sebuah sensor magnet. Juga diperlukan *array* dari lapisan tipis agar menghasilkan unjuk kerja dan *performance* yang stabil. Diperlukan juga suatu lapisan pelindung agar tidak bereaksi dengan udara luar.

Pengukuran secara kuantitatif dilengkapi dengan pengamatan menggunakan teknik *small-angle-diffraction*. Dengan metode ini maka bisa diketahui ketebalan, panjang perioda dari multilayer, bahkan bisa diamati pula *surface roughness*. Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan teknik difraksi tersebut.



Gambar 4. Hasil pengamatan dengan menggunakan *low angle diffraction*.

Rudermann, Kittel, Kasuya dan Yoshida (RKKY), telah mempublikasikan kajian teori tentang efek osilasi dari GMR. Menurut model ini terjadi *exchange-coupling* antara elektron bebas berasal dari material magnetik yang diberi impurity non magnetik, disebut osilasi Fried dari Suszeptibilitas^[5]. Dalam hubungan dengan masalah teknis, terutama metoda preparasi, maka tegangan RF memberikan efek yang lebih besar. Sehingga untuk preparasi lapisan tipis yang memiliki efek *Magnetoresistance* lebih tepat menggunakan tegangan pada radio frekuensi tersebut. Namun meskipun tegangan terpasang jauh berbeda, tetapi daya yang digunakan hampir sama, sehingga faktor impedansi (optimal = 50 Ω) yang memberikan kontribusi besar memengaruhi daya dan juga kemungkinan terhadap kandungan unsur dan sifat magnetisasi maupun sifat GMR di dalam lapisan tipis multilayer. Impedansi yang berbeda tampaknya menghasilkan kuat arus yang berbeda pula meskipun pada daya terpakai yang sama, menghasilkan derajat ionisasi yang lebih besar untuk RF. Oleh karenanya maka *sputter-yield* akan berbeda untuk kedua proses tersebut, *sputteryield* untuk Cu adalah lebih besar daripada Co. Dengan demikian maka untuk waktu sputter yang sama akan dihasilkan lapisan Cu yang lebih tebal daripada lapisan Co.

Lapisan pertama yang lebih halus yang dihasilkan dengan parameter sputtering tertentu, kemungkinan bisa diaplikasikan sebagai sensor medan magnet. Kelemahannya disini tampaknya adalah H_c yang masih agak besar yang membentuk sistem *spin-valves*. Untuk memperkecil gaya koersitiv tersebut mungkin bisa ditempuh dengan menambah ketebalan, tetapi kerugiannya adalah M_s yang meningkat sehingga akan mengurangi sensitivitas sebagai sensor^[1,2]. Berdasarkan peng-

ukuran sifat magnetik, medan yang relatif kecil 50 Oe dalam sistem sputtering mampu membentuk *easy-axis* yang sejajar dengan H dan *hard-axis* yang tegak lurus bidang lapisan tipis.

Pada aplikasinya dalam sistem *Spin-valves* terjadi pergeseran gaya koersitiv dari lapisan tunggalnya. Dengan demikian terjadi kopling/interaksi antara kedua lapisan tipis. Hal tersebut bisa dijelaskan dengan model spin yang terorientasi parallel dan antiparallel terhadap arah magnetisasi, yaitu *spin-up* dan *spin down* yang jelas memberikan kontribusi pada efek medan magnet luar terhadap pergeseran pita d, sehingga menyebabkan proses hamburan, menyebabkan perubahan konduktivitas logam, terutama logam peralihan (3d), juga dalam kaitannya dengan teori RKKY^[5]. Dengan menggunakan Cu sebagai "*spacer*", menunjukkan munculnya efek simetris dari efek GMR tersebut yang kemungkinan disebabkan oleh adanya pengaruh medan luar H sebesar 50 Oe pada saat preparasi menggunakan metode *RF-sputtering*.

KESIMPULAN

Pengukuran magnetisasi telah menghasilkan kurva hysteresis yang bersesuaian dengan efek GMR yang ditimbulkan. Dengan parameter sputtering terpenting, yaitu tekanan awal 10^{-6} mbar dan tekanan gas Argon 6×10^{-2} mbar serta *impurity* bahan material target yang kecil, maka diperoleh efek perubahan tahanan listrik yang signifikan dari multilayer Au/Fe₂O₃/NiFe/Cu/Co yang telah diimplantasi dengan Al, memberikan efek GMR yang besar dan sensitivitas cukup besar untuk medan rendah. Pengamatan dengan EDX menghasilkan kandungan masing-masing komponen dalam multilayer. Terjadinya pergeseran gaya

koersitiv dari lapisan tunggalnya mengindikasikan terjadinya kopling interaksi (*exchange coupling*) antara lapisan tipis yang membentuk multilayer. Pengamatan *Magneto-resistance* menunjukkan ketergantungan tahanan *spin-valves* dari medan magnet terpasang. Kedua hal tersebut bisa dijelaskan dengan model *spin* yang terorientasi parallel dan antiparallel terhadap arah magnetisasi, yaitu *spin-up* dan *spin down* yang jelas memberikan kontribusi pada efek medan magnet luar terhadap pergeseran pita d, sehingga menyebabkan proses hamburan, mengakibatkan perubahan konduktivitas lapisan, terutama logam peralihan NiFe (3d). Berdasarkan hasil pengukuran serta tinjauan tentang *exchange coupling*, maka lapisan tipis multilayer yang telah diimplantasi dengan ion Al ini telah mengindikasikan untuk aplikasi dibidang sensor magnet pada daerah linier 0-200 gauss. Namun demikian masih diperlukan komponen elektronik untuk melengkapi pembuatan prototype sebuah sensor magnet. Juga diperlukan *array* dari lapisan tipis agar menghasilkan unjuk kerja dan *performance* yang stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Giri Slamet untuk preparasi lapisan tipis dan Sdr. Sunarto yang telah memberikan kontribusi pada penelitian ini pada implantasi ion Al.

DAFTAR PUSTAKA

1. W. CLEGG *et.al.*, *Some Aspects of Thin Film Magnetoresistive Sensors*, Proceeding of the 2nd International Conference on Physics of Magnetic Materials, Polandia 17-22 Setember 1984.
2. S. TUMASKI, *Thin Films Magnetoresistive Sensors*, ed Institute of Physics Publishing, Philadelphia, 2001.
3. <http://www.Giant Magneto Resistance> (2001, 2003).
4. <http://srs.dl.ac.uk/OTHER/OW/MAGNETISM/Giant-Magneto.html> (2002, 003, 2004).
5. P. BRUNO, C. CHAPPERT, *Interlayer Exchange Coupling : RKKY-theorie and Beyond*, Physical Review Letters 67, 1991, 1602-1605.
6. L. FOLKS *et al.*, *Track Width Definition of Giant Magnetoresistive Sensors by Ion Irradiation*, IEEE Trans. Magn. 37 (2001), 1730-1732.
7. A. MOUGIN *et al.*, *Magnetic Micropatterning of FeNi/FeMn Exchange Bias Bilayers by Ion Irradiation*, J. Appl. Phys. 89 (2002), 6606-6608.

TANYA JAWAB

Syarip

- Apa fungsi ion Al dalam hal ini?
- Apa lapisan tipis ini mampu untuk mendeteksi medan magnet yang sangat kecil (berapa sensitivitasnya)?

Tri Mardji Atmono

- Untuk memperbesar efek GMR, karena akan terjadi hamburan yang lebih banyak/lebih sering, terutama hamburan yang tergantung dari spin (*spin dependent of scattering*). Ion Al merupakan impurity, menyebabkan antara lain defect, menghambat jalannya pembawa muatan sehingga resistansi naik.
- Secara teori bisa, dalam eksperimen digunakan teknik yang khusus. Sensitivitasnya tergantung daerah linearitas, makin besar kemiringannya makin tinggi sensitivitasnya.

Setyadi

- Guna optimasi, apakah perlu simulasi dan pemodelan dengan menggunakan komputer.

Tri Mardji Atmono

- Simulasi dan pemodelan sangat diperlukan dalam setiap eksperimen. Berdasarkan teori yang sudah ada maka dibuat suatu program, disesuaikan dengan parameter yang tersedia pada eksperimen. Pencocokan hasil simulasi ini dengan data-data percobaan adalah merupakan output yang akurat, untuk kemudian dilakukan optimasi.

Sudjatmoko

- Mohon penjelasan pengaruh implantasi ion terhadap efek GMR, apa mungkin akan terjadi bentuk granular pada thin film sehingga mempengaruhi hamburan spin.
- Berapa besar pengaruh penggunaan buffer layer Au terhadap efek GMR?

Tri Mardji Atmono

– Implantasi ion akan memperbesar efek GMR karena hamburan yang bersifat spin dependent akan lebih sering terjadi. Bisa menaikkan kira-kira 25%, yaitu dari 8% menjadi sekitar 10%. Belum tentu terjadi pembentukan Granular, tergantung kondisi/parameter eksperimen, tenaga ion, jenis ion dan spin-valve.

– Efek Au sebagai buffer adalah memperhalus permukaan substrat, sehingga lapisan yang terbentuk bisa "duduk" dengan baik, memperbesar efek GMR. Dari segi ekonomi memang harganya Au mahal, bisa digunakan material lain, misalnya Ta.