

KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK DAN MAGNET LAPISAN TIPIS Fe-C/Si SETELAH IRADIASI ION Ar⁺

Yunasfi dan P. Purwanto

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM)-BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

E-mail: yunasfi@gmail.com

Diterima: 10 April 2015

Diperbaiki: 11 Mei 2015

Disetujui: 08 Juni 2015

ABSTRAK

KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK DAN MAGNET LAPISAN TIPIS Fe-C/Si SETELAH IRADIASI ION Ar⁺. Telah dilakukan karakterisasi sifat listrik dan magnet lapisan tipis Fe-C/Si setelah iradiasi ion Ar⁺. Lapisan tipis Fe-C/Si diiradiasi dengan ion Ar⁺ pada dosis antara 1×10^{16} sampai 5×10^{17} ion/cm². Hasil pengamatan morfologi permukaan lapisan tipis dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)* memperlihatkan permukaan yang halus dan rata dengan terdeposisikan secara homogen di atas substrat Si (100). Pengamatan penampang lintang dengan *SEM* menunjukkan terbentuknya lapisan tipis Fe-C di atas permukaan substrat Si(100). Hasil pengukuran sifat listrik dan sifat magnet lapisan tipis Fe-C/Si menunjukkan bahwa nilai konduktansi (G), kapasitansi (C) dan nisbah *magnetoresistance (MR)* meningkat akibat pengaruh iradiasi ion Ar⁺ dan nilai-nilai ini semakin meningkat seiring dengan penambahan dosis radiasi. Dengan demikian, radiasi ion Ar⁺ berpotensi diaplikasikan di bidang elektromagnetik karena dapat meningkatkan sifat listrik dan magnet bahan.

Kata kunci: Lapisan tipis Fe-C/Si, Radiasi ion, Konduktivitas, Kapasitansi, *Magnetoresistance*

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF Fe-C/Si THIN FILM AFTER Ar⁺ ION IRRADIATION. Characterization of electrical and magnetic properties of Fe-C/Si thin film after Ar⁺ ion irradiation have been carried out. Fe-C/Si thin film was irradiated by Ar⁺ ions at the doses between 1×10^{16} up to 5×10^{17} ion/cm². The observation of surface morphology by using Scanning Electron Microscope (SEM) shows that the Fe-C thin film has as the smooth surface which deposited homogeneously on the surface of Si (100) substrate. While the cross-sectional observation by using SEM shows that Fe-C thin film formed on the surface of the substrate Si (100). The measurement result of electrical and magnetic properties indicate that the electrical conductance (G), capacitance (C) and magnetoresistance ratio (MR) increase due to Ar⁺ ion irradiation, which increased with the increasing of radiation dose. Thus, Ar⁺ ion radiation potentially to be applied in the electromagnetic field because it can improve the magnetic and electric properties of materials.

Keywords: Fe-C thin film, Ion Radiation, Conductivity, Capacitance, Magnetoresistance

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir ini, diketahui bahwa lapisan tipis nanokomposit yang terdiri dari nano partikel logam feromagnetik, seperti logam Fe, Co dan Ni yang tertanam pada permukaan substrat (misalnya: C, Si, SiO₂, Al₂O₃ dan AlN), menunjukkan sifat-sifat yang luar biasa seperti superparamagnetik, *magnetoresistance (MR)* dan efek antarmuka. Salah satu bahan nanokomposit yang

banyak dikembangkan saat ini adalah nanokomposit Fe-C karena memiliki sifat listrik dan magnetik yang sangat baik serta berpotensi diaplikasikan sebagai bahan sensor, kapasitor penyimpan energi dan katalis [1-2]. Nanokomposit dan nanostruktur karbon yang mengandung nanopartikel besi menunjukkan sifat listrik dan magnetik secara bersamaan, dan telah banyak

diaplikasikan di bidang elektromagnetik dalam bentuk lapisan tipis [2,3].

Beberapa kelompok peneliti telah mempelajari struktur dan sifat magnetik lapisan tipis nanokomposit Fe-C yang dihasilkan dengan teknik yang berbeda-beda, dan melaporkan bahwa morfologi dan struktur dari logam feromagnetik sangat sensitif terhadap metode dan kondisi penyiapan lapisan tipis [4,5]. Berbagai teknik deposisi telah dikembangkan untuk menumbuhkan lapisan tipis nanokomposit Fe-C seperti *co-sputtering deposition*, *Pulsed Laser Deposition (PLD)* dan *electrolysis deposition* [5,6]. Tian et al. [7] melaporkan bahwa MR positif yang lebih besar dari 15% pada B = 1 T diamati pada lapisan tipis *amorphous C : Fe* yang ditumbuhkan pada permukaan Si (100) dengan menggunakan metode *PLD*.

Berbagai metode fisika telah berhasil dilakukan untuk menghasilkan dan modifikasi lapisan tipis Fe-C, salah satunya adalah iradiasi ion energi tinggi [8] karena radiasi ini dapat digunakan untuk memodifikasi struktur, sifat mekanik, listrik dan magnet bahan. Namun, sampai saat ini belum ada peneliti yang mengamati perubahan sifat listrik dan magnet lapisan tipis Fe-C setelah diiradiasi dengan radiasi ion. Ion dengan energi rendah menginduksi *collision cascade* pada ketebalan material yang kecil (skala μm) dan mengganggu struktur target hingga kedalaman beberapa mikrometer, terutama melalui proses transfer energi elektronik. Penelitian tentang iradiasi ion Ar⁺ terhadap bahan komposit berbasis karbon telah dikembangkan untuk menumbuhkan sifat magnetik yang diakibatkan oleh cacat kristal yang terbentuk.

Dengan kata lain bahwa sifat feromagnetik bahan berbasis karbon yang diiradiasi dengan ion Ar⁺ ini dapat diprediksikan karena hadirnya gangguan/penyimpangan (*disorder*) dalam struktur bahan. Sedangkan hadirnya *disorder* ini menyebabkan peningkatan sifat magnet seiring dengan peningkatan dosis ion Ar⁺ [9]. Ishaq et al. [10] melaporkan bahwa iradiasi ion Ar⁺ berenergi tinggi (4 MeV) pada dosis 3×10^{16} ion/cm² dapat memodifikasi sifat mekanik bahan *multiwalled carbon nanotube (MWCNT)*.

Pada penelitian sebelumnya telah dilaporkan bahwa iradiasi ion Ar⁺ sampai dosis 1×10^{17} ion/cm² telah berhasil menumbuhkan *carbon nanotube (CNT)* dari lapisan tipis Fe-C/Si, yang didasarkan pembentukan cacat akibat interaksi radiasi ion dengan partikel karbon, sedangkan Fe berfungsi sebagai katalis penumbuh [11,12]. Dengan adanya cacat yang terbentuk oleh radiasi ion ini, diharapkan dapat juga mempengaruhi sifat listrik dan magnetik lapisan tipis Fe-C yang ditumbuhkan diatas permukaan Si. Maka, pada makalah ini akan dibahas perubahan sifat listrik dan sifat magnet lapisan tipis Fe-C/Si setelah diiradiasi dengan ion Ar⁺ pada dosis yang bervariasi.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk Fe produk *Aldrich* yang memiliki tingkat kemurnian 99,9% dengan ukuran partikel serbuk bervariasi 10 μm hingga 50 μm dan serbuk karbon (grafit) produk *Merck* yang memiliki tingkat kemurnian 99,5% dengan ukuran partikel serbuk 10 μm , kemudian dilakukan

Peralatan yang digunakan adalah peralatan *milling* jenis *High Energy Milling (HEM)* merek *SPEX CertiPrep 8000M Mixer/Mill* untuk pembuatan nanopartikel Fe-C (terdapat di BSBM - PSTBM, BATAN). Mesin pres tipe hidrolik merek *Daiwa Universal Testing Machine* : rat 100, kapasitas=100 ton, AC : 20 V, produksi *Daiwa Kenko Co. Ltd.*, untuk pembuatan pelet Fe-C (terdapat di Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB-Bandung). *DC-Magnetron sputtering* (terdapat di jurusan Fisika, FMIPA - ITB) untuk preparasi lapisan tipis Fe-C/Si. Implantor ion (terdapat di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) - BATAN, Yogyakarta) sebagai sumber radiasi ion. Peralatan difraktometer sinar-X merek *Shimadzu X-Ray Diffractometer 7000*, di Universitas Islam Negeri, Syarif Hidayatullah-Jakarta untuk identifikasi fasa lapisan tipis Fe-C/Si, *Scanning Electron Microscope (SEM)/Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)* merek JEOL (terdapat di Pusat Penelitian Metalurgi -LIPI) untuk pengamatan morfologi permukaan dan penampang lintang lapisan tipis, alat ukur *LCR* meter Hioki 3523-50 untuk pengukuran sifat listrik dan peralatan *Four Point Probe J* dengan arus minimum 0,01 A, perubahan arus 0,01 A dan tegangan maksimum 2 mA (terdapat di Bidang Sains Bahan Maju (BSBM) - PSTBM, BATAN) untuk pengukuran sifat magnetik.

Cara Kerja

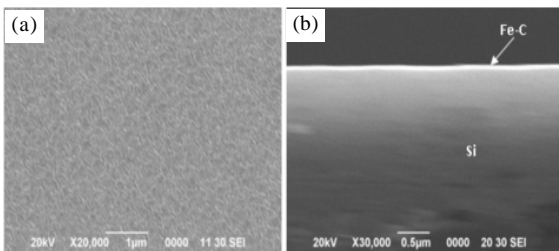
Sampel yang digunakan adalah lapisan tipis hasil penumbuhan Fe-C pada permukaan Si(100) dengan teknik *sputtering* (selanjutnya ditulis dengan Fe-C/Si), yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya [11,12].

Lapisan Fe-C/Si diiradiasi dengan ion argon pada dosis antara 1×10^{16} ion/cm² sampai 5×10^{17} ion/cm². Lapisan Fe-C/Si sebelum dan sesudah proses iradiasi dilakukan pengamatan morfologi permukaan dan penampangnya dengan metode *SEM/EDS* dan identifikasi fasa dengan metode *XRD*. Untuk mengetahui perubahan sifat listrik dan magnet lapisan tipis Fe-C/Si oleh radiasi ion dilakukan dengan alat ukur *LCR* dengan parameter frekuensi antara 1 kHz sampai 100 kHz, tegangan potensial V = 1 Volt pada suhu ruang dan *Four Point Probe* dengan arus minimum 0,01 A, perubahan arus 0,01 A dan tegangan maksimum 2 mA.

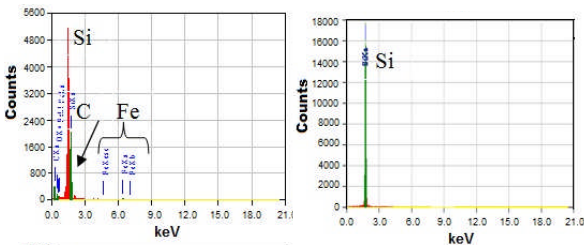
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan morfologi permukaan dan penampang lintang lapisan tipis Fe-C ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1(a) terlihat bahwa lapisan tipis ini memiliki morfologi permukaan yang halus dan rata. Disamping itu, tampak dengan jelas bahwa partikel Fe-C telah terdeposisi secara homogen pada permukaan substrat Si (100), ditandai dengan adanya bulatan putih yang merata di permukaan substrat Si (100) dengan ukuran sampai orde nano-meter. Gambar 1(b) menunjukkan penampang lintang lapisan tipis Fe-C, yang ditandai dengan adanya lapisan berwarna putih di bagian atas dan warna keabu-abuan di bagian bawah.

Dari data EDS yang ditunjukkan pada Gambar 2, terlihat adanya puncak-puncak difraksi atom Fe dan C pada permukaan lapisan tipis Fe-C, sedangkan pada bagian bawah adalah substrat Si(100). Berarti bahwa lapisan tipis Fe-C telah terbentuk (selanjutnya disebut dengan Fe-C/Si) dengan ketebalan sekitar sampai orde nano-meter.



Gambar 1. Foto SEM lapisan tipis Fe-C/Si (a) morfologi permukaan, dan (b) penampang lintang.



Gambar 2. Data EDS lapisan tipis Fe-C dan Si.

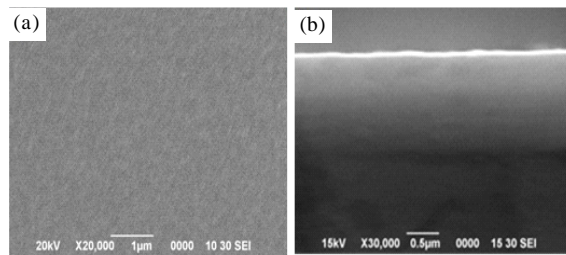
Selanjutnya, lapisan tipis Fe-C/Si diiradiasi dengan ion Ar⁺ pada variasi dosis antara antara 1 x 10¹⁶ sampai 5 x 10¹⁷ ion/cm². Hasil pengamatan SEM terhadap morfologi permukaan lapisan tipis Fe-C/Si setelah diiradiasi diperlihatkan pada Gambar 3. Dari foto SEM ini terlihat bahwa permukaan lapisan tipis Fe-C/Si masih memiliki morfologi yang merata dan halus, secara makro namun tidak terlihat kerusakan di permukaan lapisan tipis akibat proses iradiasi, yang ditunjukkan pada Gambar 3(a). Dengan demikian, SEM tidak dapat mendeteksi cacat struktur bahan yang diakibatkan oleh iradiasi ion. Untuk mengamati cacat struktur yang terjadi dalam struktur bahan akibat iradiasi ion diperlukan pengamatan dengan Tunnel Electron Microscopy (TEM) yang memiliki resolusi tinggi. Namun, untuk adanya cacat

struktur yang terbentuk akibat iradiasi ion dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi fasa dengan menggunakan peralatan XRD.

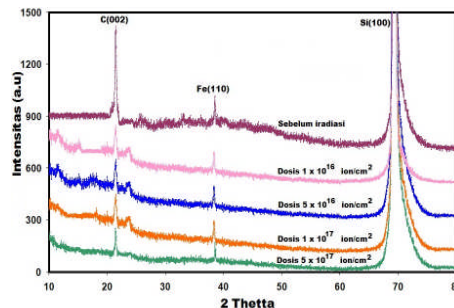
Identifikasi fasa menggunakan XRD terhadap lapisan tipis Fe-C/Si sebelum dan sesudah proses iradiasi ion ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat bahwa puncak difraksi yang muncul adalah puncak C(002) dan Fe(110), dan puncak-puncak ini berkurang setelah proses iradiasi ion dan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya dosis ion. Penurunan puncak difraksi C(002) adalah sangat signifikan sedangkan untuk Fe(110) ditunjukkan penurunan yang tidak signifikan. Selain itu, sudut puncak difraksi semakin bergeser ke kanan seiring dengan bertambahnya dosis ion. Penurunan puncak difraksi menunjukkan bahwa interaksi antara radiasi ion dengan partikel-partikel penyusun Fe dan C sehingga defect (cacat) di dalam struktur Fe-C [8-10]. Hal ini disebabkan oleh adanya strain internal yang dikembangkan di dalam struktur kristalnya sehingga menimbulkan perubahan bidang kisi maka terjadi pergeseran sudut puncak difraksi. Akibat dari peningkatan strain internal maka pergerakan elektron di dalam struktur atom juga semakin meningkat, sehingga mempengaruhi sifat-sifat dari bahan tersebut, terutama sifat listrik dan magnetnya.

Hasil pengukuran nilai konduktansi dan kapasitansi listrik lapisan tipis Fe-C/Si sebelum dan sesudah iradiasi ion Ar⁺ pada dosis antara 1 x 10¹⁶ ion/cm² sampai 5 x 10¹⁷ ion/cm² masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

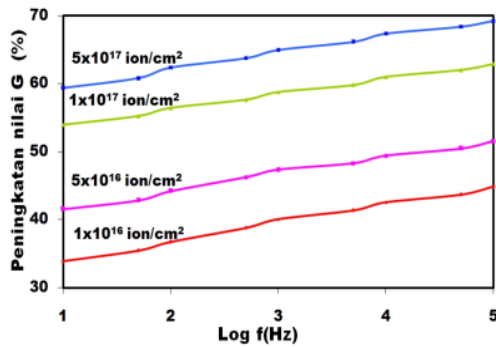
Gambar 5 memperlihatkan grafik hubungan antara persentase (%) peningkatan nilai konduktansi terhadap frekuensi untuk berbagai variasi dosis iradiasi. Dari Gambar 5 terlihat bahwa peningkatan nilai konduktansi semakin besar seiring dengan naiknya frekuensi. Nilai



Gambar 3. Morfologi permukaan lapisan tipis Fe-C/Si setelah iradiasi ion Ar.



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X lapisan tipis Fe-C sebelum dan sesudah iradiasi ion Ar pada variasi dosis.

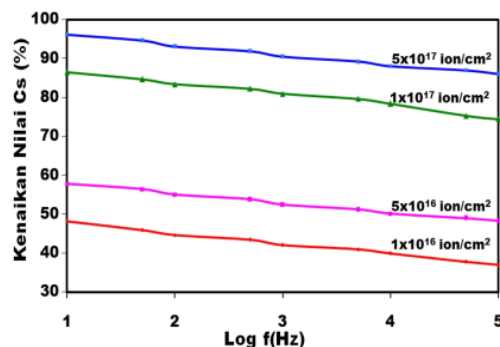


Gambar 5. Peningkatan nilai konduktansi lapisan tipis Fe-C/Si akibat radiasi ion Ar⁺

konduktansi lapisan tipis Fe-C/Si juga mengalami peningkatan akibat radiasi ion Ar⁺ dan terus meningkat seiring dengan bertambahnya dosis ion Ar⁺ sampai 5×10^{17} ion/cm². Peningkatan nilai konduktansi ini mencapai hingga 69,2 % (dari $2,38 \times 10^{-7}$ S/cm menjadi $7,73 \times 10^{-7}$ S/cm) setelah iradiasi sampai dosis 5×10^{17} ion/cm² pada frekuensi 100 kHz.

Gambar 6 memperlihatkan secara jelas bahwa nilai kapasitansi lapisan tipis Fe-C/Si mengalami penurunan seiring dengan naiknya frekuensi tapi penurunan ini tidak signifikan. Namun demikian, nilai kapasitansi lapisan tipis Fe-C/Si mengalami peningkatan akibat radiasi ion Ar⁺ dan terus meningkat seiring bertambahnya dosis sampai 5×10^{17} ion/cm². Peningkatan nilai kapasitansi ini mencapai hingga 86,1 % (dari $1,29 \times 10^{-10}$ F menjadi $9,30 \times 10^{-10}$ F) setelah iradiasi sampai dosis 5×10^{17} ion/cm² pada frekuensi 100 kHz.

Sampai saat ini, perubahan sifat listrik lapisan tipis Fe-C/Si oleh iradiasi ion Ar⁺ belum ada literatur yang membahasnya. Namun, peningkatan nilai konduktansi dan kapasitansi lapisan tipis Fe-C/Si setelah proses radiasi ini diduga karena proses interaksi ion Ar⁺ dengan



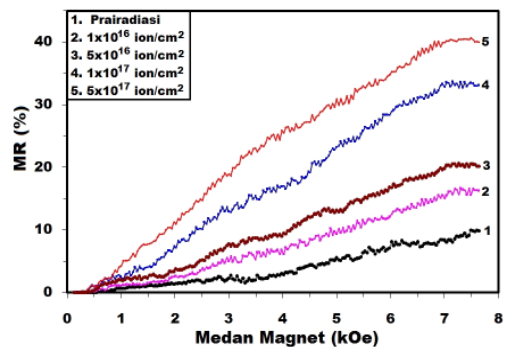
Gambar 6. Peningkatan nilai kapasitansi lapisan tipis Fe-C akibat radiasi ion Ar⁺.

partikel Fe dan C yang menghasilkan eksitasi molekul, pembentukan elektron dan ion bebas yang berenergi tinggi, sehingga menghasilkan cacat (*defect*) pada struktur kristalnya [13,14]. Partikel-partikel aktif ini akan berpindah-pindah yang akhirnya menyebabkan terjadinya tumbukan-tumbukan secara kontinyu dengan molekul-molekul yang ada di sekeliling lintasan orbitnya. Energi yang ditransferkan ke molekul-molekul ini dapat meningkatkan suhu pada lintasan yang dilalui elektron,

sehingga menyebabkan penurunan nilai resistivitas listrik [15]. Penurunan resistivitas listrik ini menunjukkan peningkatan nilai konduktansi (konduktansi) dan kapasitas listrik bahan. Di samping itu, tumbukan ini berpotensi dapat menyebabkan pemutusan ikatan kimia antar atom, sehingga melahirkan radikal bebas dan kemudian radikal-radikal bebas tersebut akan bergabung kembali secara random dengan molekul lainnya membentuk molekul baru. Konfigurasi molekul yang baru ini dapat menyebabkan peningkatan sifat listrik bahan [16].

Hasil pengukuran nilai MR lapisan tipis Fe-C/Si sebelum dan sesudah iradiasi ion Ar⁺ pada dosis antara 1×10^{16} ion/cm² sampai 5×10^{17} ion/cm², menggunakan metode *Four Point Probe* ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai MR untuk lapisan tipis Fe-C/Si bernilai positif dan mengalami peningkatan dengan adanya perlakuan iradiasi. Disamping itu, nilai MR ini meningkat seiring dengan penambahan dosis radiasi ion Ar⁺ sampai 5×10^{17} ion/cm². Peningkatan nilai MR ini mencapai hingga 75,35 % (dari 9,83 % menjadi 40,00 %) setelah iradiasi sampai dosis 5×10^{17} ion/cm² pada medan magnet 7,6 kOe. Tan dan kawan-kawan [7], melaporkan bahwa lapisan tipis α -C yang *didoping* dengan ion Fe menunjukkan nilai MR sekitar 15 % pada medan magnet 1 T (10 kOe). Dengan menggunakan iradiasi ion Ar⁺ sampai dosis 5×10^{17} ion/cm² diperoleh nilai MR sekitar 40 %.

Perubahan nilai MR lapisan tipis Fe-C/Si oleh iradiasi ion Ar⁺ belum ditemukan literatur yang membahasnya, sehingga sulit untuk membandingkan hasil yang diperoleh ini dengan hasil dari penelitian lainnya. Namun, peningkatan nilai MR setelah iradiasi



Gambar 7. Kurva nilai MR lapisan tipis Fe-C/Si sebelum dan sesudah iradiasi ion Ar⁺.

ion Ar⁺ diduga karena terbentuknya *disorder* di dalam struktur bahan akibat interaksi antara ion Ar⁺ dengan atom-atom Fe dan C sehingga menghasilkan cacat (*defect*) pada struktur kristalnya [13]. Dengan rusaknya struktur Fe maka intensitas magnetik Fe terganggu, sedangkan karbon (C) dalam hal ini memberikan kontribusi sebagai *barrier* magnetik antara atom Fe. Interaksi momen magnetik antar atom Fe ini semakin meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi ion Ar⁺ sehingga sifat magnetik bahan semakin membaik

yang dalam hal ini menunjukkan nilai *MR* semakin meningkat

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa iradiasi ion Ar^+ pada dosis antara 1×10^{16} ion/cm² sampai 5×10^{17} ion/cm² dapat meningkatkan sifat listrik (dalam hal ini nilai konduktansi dan kapasitansi) dan sifat magnetnya (nilai nisbah *MR*) lapisan tipis Fe-C/Si. Peningkatan sifat listrik dan sifat magnet lapisan tipis Fe-C/Si semakin tinggi dengan penambahan dosis ion Ar^+ . Peningkatan nilai-nilai ini setelah iradiasi ion Ar^+ disebabkan oleh terjadinya *disorder* di dalam struktur bahan akibat interaksi antara ion Ar^+ dengan atom-atom Fe dan C sehingga menghasilkan cacat (*defect*) pada struktur kristalnya. Peningkatan nilai konduktansi mencapai 79,2 %, nilai kapasitansi mencapai 86,1 % pada frekuensi 100 kHz, dan nilai *MR* mencapai 75,4 %. Dengan demikian, lapisan tipis Fe-C/Si setelah proses radiasi memiliki kinerja yang sangat baik dan dapat diaplikasikan di bidang elektromagnetik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini di dana dari DIPAPSBM- BATAN tahun anggaran 2011-2013, kode anggaran 004.001.032 dengan judul kegiatan Litbang Bahan GMR untuk Biosensor. Kami juga mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. G. Mandal, V. Srinivas, and V. V. Rao. "Role of Particle Size on the Magnetoresistance of Nano-Crystalline Graphite". *Carbon*, vol. 57, pp. 139-145, Jun. 2013.
- [2]. M. Venkatesan, P. Dunne., Y. H. Chen, *et al.* "Structural and Magnetic Properties of Iron in Graphite". *Carbon*, vol. 56, pp. 279-287, May 2013.
- [3]. O. Guler, and E. Evin. "Carbon Nanotube Formation by Shot Time Ball Milling and Annealing of Graphite". *J. Optoelectron. Adv. Mater. Rapid. Commun.*, vol. 6, pp. 183-187, Jan. - Feb. 2012.
- [4]. M. A. Lei, Z. L. Wu, Z. DeChang, *et al.* "Structure and Magneto-Electrical Properties of Fe-C films Prepared by Magnetron Sputtering", *Sci. China-Phys. Mech. Astron.*, vol. 55, pp. 1594-1598, Sept. 2012.
- [5]. C. Muratore, A. N. Reed., Bultman J.E., *et al.* "Nanoparticle Decoration of Carbon Nanotubes by Sputtering". *Carbon*, vol. 57, pp. 274 -281, Jun. 2013.
- [6]. U. R. Sagar, X. Zhang, C. Xiong, *et al.* "Semiconducting Amorphous Carbon Thin Films for Transparent Conducting Electrodes". *Carbon*, vol. 76, pp. 64-70, Apr. 2014.
- [7]. P. Tian, X. Zhang, and Q. Z. Xue. "Enhanced Room-Temperature Positive Magnetoresistance of C:Fe film". *Carbon*, vol. 45, pp. 1764-1768, Aug. 2007.
- [8]. D. K. Avasthi, and J. C. Pivin. "Ion Beam for Synthesis and Modification of Nanostructures", *Current Science*, vol. 98, p. 780-792, March 2010.
- [9]. P. V. Matyukhin, V. I. Pavlenko, R. N. Yastrebinsky. "The High-Energy Radiation Effect on the Modified Iron-Containing Composite Material". *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 17, pp. 1343-1349, 2013.
- [10]. A. Ishaq, S. Iqbal, N. Ali., *et al.* " H^+ , N^+ , and Ar^+ Ion Irradiation Induced Structure Changes of Carbon Nanostructures". *New Carbon Materials*, vol. 28, pp. 81-87, Apr. 2013.
- [11]. Salim Mustofa and Yunasfi. "Growth of Carbon Nanotube by Applying Ion Implantation Technique". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 13, pp. 108-113, Feb. 2012.
- [12]. Yunasfi. "Efek Penambahan Dosis Ion Ar^+ Terhadap Penumbuhan *Carbon Nanotube* (CNT) dari Nanokomposit Fe-C dengan Teknik Implantasi Ion". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 12, pp. 195-201, Jun. 2011.
- [13]. B. Li, Y. Feng, K. Ding, *et al.* "The effect of Gamma Ray Irradiation on the Structure of Graphite and Multi-Walled Carbon Nanotubes". *Carbon* vol. 60, pp. 186 -192, Apr. 2013.
- [14]. S. Hwang, H. Choi, Y. Kim, *et al.* "Influence of the Electrical Conductivity of the Silicon Substrate on the Growth of MWCNT". *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 58, 248-253, Feb. 2011.