Jurnal Sains Materi Indonesia
Indonesian Journal of Materials Science

Edisi Khusus Oktober 2007, hal : 58 - 61
ISSN : 1411-1098

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

WAKTU RELAKSASI ELEKTRONIK PADA $CaMnO_3$

Muhammad Fikri Radiyan dan Budhy Kurniawan
Departemen Físika, FMIPA-UI
Kampus Baru UI, Depok 16424

ABSTRAK

WAKTU RELAKSASI ELEKTRONIK PADA $CaMnO_3$. Perhitungan waktu relaksasi merupakan salah satu cara untuk menganalisis pengaruh magnetoresistansi terhadap suatu sampel. Perhitungan waktu relaksasi secara teori dilakukan dengan menggunakan data-data rasio magnetoresistansi yang sebelumnya telah diperoleh secara percobaan. Dalam percobaan tersebut telah dilakukan variasi *milling* dan lama pemanasan untuk pengukuran rasio magnetoresistansi pada sampel $CaMnO_3$. Rasio magnetoresistansi terbaik yang bisa diperoleh dalam percobaan tersebut bernilai $\Delta\rho / \rho_{(0)}$= 28% menggunakan proses *milling* selama 12 jam dan pemanasan pada suhu 1000 °C selama 9 jam. Data tersebut kemudian di*fitting* menggunakan persamaan $y = ax^2$ untuk selanjutnya dilakukan perhitungan secara teori untuk mencari waktu relaksasi. Waktu relaksasi yang diperoleh dari data tersebut bernilai $\tau = 4{,}44 \times 10^{-12}$ detik.

Kata kunci : Waktu relaksasi, $CaMnO_3$, Magnetoresistansi

ABSTRACT

ELECTRONIC RELAXATION TIME IN $CaMnO_3$ SAMPLE. Calcuation of relaxation time is a method to analyze the effect of magnetoresistance to a sample. Theoretically calcuation of relaxation time is carried out by using data of magnetoresistance ration, which previously obtained from experiment. During experiment, milling and heating period were varied in order to measure magnetoresistance in $CaMnO_3$ sample. The best magnetoresistance resulted from the experiment was $\Delta\rho / \rho_{(0)}$= 28% by using milling process for 12 hours and heating at 1000 °C for 9 hours. The data was then fitted by using equation $y = ax^2$ and then calculated theoretically to determine relaxation time. Relaxation time resulted from the data was $\tau = 4.44 \times 10^{-12}$ second.

Key words : Relaxation time, $CaMnO_3$, Magnetoresistance

PENDAHULUAN

Perkembangan material yang berbasis manganat sudah berkembang pesat. Manganat tanah jarang dengan rumus umum $Ln_{1-x}A_xMnO_3$ (*Ln = trivalent rare earth* dan *A = divalent alkaline earth*) memiliki karakteristik magnetoresistansi (gejala yang menggambarkan terjadinya perubahan resistansi pada suatu bahan bila diberikan medan magnet luar). Resistansi ini bisa diatur dengan mengatur konsentrasi kation dan medan magnet luarnya [1]. Selain fenomena magnetoresistansi juga sudah ditemukan *Giant Magnetoresistance* dan *Colossal Magnetoresistance* [2].

Giant Magneto Resistance (*GMR*) dapat dikarakterisasi melalui perubahan negatif resistivitas elektrik yang besar di bawah pengaruh medan magnet. Sifat *GMR* dicirikan dengan rasio magnetoresistance $\frac{\Delta R}{R}$ ΔR dimana adalah selisih harga tahanan listrik ketika tanpa dan dikenakan medan magnet. Dapat dikatakan bahwa sifat *GMR* pada sistem granular tergantung pada orientasi partikel, hal ini dapat ditegaskan bahwa sifat *GMR* pada sistem granular bersifat isotropis yang berarti ketika magnetoresistansi sejajar ataupun tegak lurus akan memiliki harga yang sama.

Senyawa $CaMnO_3$ merupakan *insulator antiferomagnetik* (*AFM*) dengan suhu *Neel* 125 K dan struktur kristal kubik *perovskite* [3-7]. Selain memiliki karakteristik pada fenomena kemagnetan, $CaMnO_3$ juga memiliki karakteristik pada fenomena listrik seperti konduktifitas, hambatan dan hambatan jenis. Hambatan listrik yang bervariasi dengan medan magnet sangat penting pada beberapa teknologi dan menjadi landasan penelitian.

Senyawa $CaMnO_3$ menarik untuk dipertimbangkan sebagai bahan yang menjanjikan untuk aplikasi teknologi, seperti magnetik *recording*, sensor dan *data storage* [8].

TEORI

Dalam pembuatan kurva hasil perhitungan teori, akan digunakan model persamaan magnetoresistansi yaitu

$$\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} = -(\omega_C\tau)^2 \quad \text{.................................} \quad (1)$$

Persamaan ini dapat diturunkan melalui persamaan densitas arus statik dalam bentuk matriks yang dapat ditulis dengan

$$\begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ j_z \end{pmatrix} = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2}\begin{pmatrix} 1 & -\omega_c\tau & 0 \\ \omega_c\tau & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1+(\omega_c\tau)^2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} \quad \text{....} \ (2)$$

Sehingga jika kita ingin mencari densitas arus statik pada arah x (j_x) dan E_y dianggap sama dengan 0, maka

$$j_x = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2}E_x \quad \text{......................................} \quad (3)$$

Karena persamaan umum densitas listrik adalah j = σE, maka

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2} \quad \text{...} \quad (4)$$

dimana σ_0 adalah nilai konduktivitas tanpa dipengaruhi medan magnet, dengan

$$\omega_c = \frac{eH}{mc} \quad \text{..} \quad (5)$$

adalah frekuensi cyclotron, e adalah muatan elektron yang bernilai -1,6 x 10^{-19} Couloumb, m adalah massa elektron yang bernilai 9,11 x 10^{-31} Kg, dan c adalah kecepatan cahaya yang bernilai 3 x 10^8 m/s.

Ketika pada sampel diberikan medan magnet, maka nilai konduktivitasnya menjadi fungsi H seperti berikut ini

$$\sigma(H) = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2} \quad \text{....................................} \quad (6)$$

dan persamaan umum konduktivitas terhadap resistivitas adalah

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \text{...} \quad (7)$$

sedangkan

$$\rho = R\frac{A}{l} = 2\pi Rs$$

jika 2πs kita anggap konstan dengan besar (b) maka ρ = *bR* sehingga

$$R = \frac{b}{\sigma}$$

Kemudian kita kembali ke persamaan awal untuk mencari nilai delta R ;

$$\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} = \frac{\frac{b}{\sigma(H)} - \frac{b}{\sigma(0)}}{\frac{b}{\sigma(0)}}$$

$$\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} = \frac{\frac{b\left(1+(\omega_c\tau)^2\right)}{\sigma_0} - \frac{b}{\sigma_0}}{\frac{b}{\sigma_0}}$$

$$\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} = (\omega_c\tau)^2 \quad \text{.............................} \quad (8)$$

Dari data hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, rasio magnetoresistansi $\Delta\rho/\rho_0$ dari bahan $CaMnO_3$ [-] yang terukur memiliki dua kondisi yang berbeda, sehingga perlu dilakukan pendekatan, bila :

a. $\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} > 0$ maka $\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} = (\omega_c\tau)^2$

Dengan menggunakan sumbu y sebagai rasio magnetoresistans yaitu $\Delta\rho/\rho_0$, berdasarkan penurunan rumus yang sudah dilakukan maka sumbu y dapat kita anggap

$$y = \frac{\rho(H)-\rho(0)}{\rho(0)} = \frac{R(H)-R(0)}{R(0)} = (\omega_c\tau)^2$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk melakukan *fitting* terhadap hasil percobaan dalam bentuk

$$y = (\omega_c\tau)^2 = \left(\frac{eH}{mc}\right)^2\tau^2 = \left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 H^2$$

Atau dapat juga disederhanakan menjadi

$$y = \left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 H^2 = \left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 x^2 = ax^2 \quad \text{................} \quad (9)$$

b. Untuk $\frac{R(H)-R(0)}{R(0)} < 0$ maka $\frac{\Delta R}{R(0)} = -(\omega_c\tau)^2$

Dengan menggunakan sumbu y sebagai rasio magnetoresistans yaitu $\Delta\rho/\rho_0$, berdasarkan penurunan rumus yang sudah dilakukan maka sumbu y dapat kita anggap

$$y = \frac{\Delta R}{R(0)} = -(\omega_c\tau)^2$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk melakukan *fitting* terhadap hasil percobaan dalam bentuk

$$y = -(\omega_c\tau)^2 = -\left(\frac{eH}{mc}\right)^2\tau^2 = -\left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 H^2$$

Edisi Khusus Oktober 2007, hal : 58 - 61
ISSN : 1411-1098

Atau dapat juga disederhanakan menjadi

$$y = -\left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 H^2 = -\left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 x^2 = -ax^2$$

Karena persamaan tersebut sudah terbukti, sekarang akan ditunjukkan cara menerapkan persamaan tersebut untuk membuat variasi kurva hasil perhitungan teori yang sebelumnya sudah ditunjukkan diatas.

$$y = \frac{\Delta R}{R(0)} = (\omega_c \tau)^2 \quad \text{.....................................} \quad (10)$$

Kemudian karena pada $(\omega_c T)^2$ tersebut akan dicari waktu relaksasi (*T*), sedangkan diketahui bahwa pada ω_c tersebut hanya nilai medan magnet (*H*) yang divariasikan, maka

$$y = (\omega_c \tau)^2 = \left(\frac{eH}{mc}\right)^2 \tau^2 = \left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 H^2$$

Jika pada persamaan diatas nilai $(e\tau/mc)^2$ kita anggap sebagai sebuah konstanta maka persamaan ini akan membentuk persamaan kuadratik dengan variasi nilai H^2 sebagai sumbu x.

$$y = \left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 H^2 = \left(\frac{e\tau}{mc}\right)^2 x^2 = ax^2 \quad \text{...............} \quad (11)$$

Dari persamaan inilah dapat dilakukan penggambaran kurva $\Delta\rho / \rho_0$ versus medan magnet $CaMnO_3$ hasil perhitungan teori, lalu langkah selanjutnya untuk mencari waktu relaksasi (T) dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan dengan mengubah nilai konstanta a untuk mencari bentuk kurva yang paling mendekati hasil percobaan. Secara teori nilai $(e/mc)^2$ dapat dihitung langsung karena ketiga variabel tersebut adalah konstanta

$$\left(\frac{e}{mc}\right)^2 = \left(\frac{-1.6\times10^{-19}}{9.11\times10^{-31}}\right)^2 = 3.09\times10^{22}$$

Sehingga untuk mencari waktu relaksasi persamaannya menjadi

$$\tau = \sqrt{\frac{a}{3.09\times10^{22}}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan model yang telah dijelaskan pada sebelumnya. Perhitungan magnetoresistansi dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{R(H) - R(0)}{R(0)} = -(\omega_c \tau)^2 \quad \text{...............................} \quad (12)$$

ternyata hanya cocok bagi kurva dengan waktu *milling* 9 jam dan pemanasan 9 jam. Sementara itu, kurva lainnya tidak sesuai bila didekati dengan model di atas karena kurva *fitting* yang mendekati hasil percobaan berbentuk :

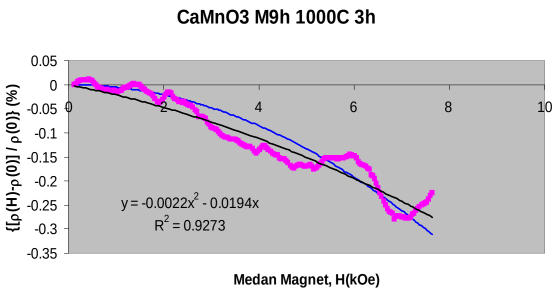
$$\frac{R(H) - R(0)}{R(0)} = -ax^2 + bx + c \quad \text{......................} \quad (13)$$

Pada persamaan di atas, suku kedua dan ketiga merupakan faktor koreksi terhadap model yang pertama. Suku ketiga dapat ditiadakan (dengan c=0) yaitu dengan mengambil titik y=0 sebagai titik potong kurva *fitting* terhadap sumbu-y.

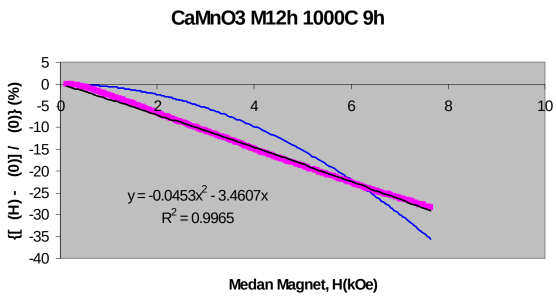
$$\frac{R(H) - R(0)}{R(0)} = -ax^2 + bx \quad \text{.............................} \quad (14)$$

Sehingga suku kedua dapat dianggap sebagai suku koreksi bagi model di atas. Meskipun demikian, untuk mencari nilai waktu relaksasi pada suku pertama dapat digunakan pendekatan model awal. Pendekatan model awal yaitu dengan persamaan $y = ax^2$ dapat dilihat pada kurva biru pada masing-masing gambar, tetapi karena terdapat banyak ketidaksesuaian pada kurva hasil percobaan maka digunakanlah pendekatan model kedua yaitu dengan persamaan $y = ax^2 + bx$.

Pada pendekatan model kedua ini pun seringkali terlihat faktor koreksi bx lebih berpengaruh daripada faktor utamanya yang berbentuk kuadratik $-ax^2$, fenomena ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh proses *milling* dan lama pemanasan ketika menyiapkan sampel sebelum diukur rasio magnetoresistansinya.



Gambar 1. Kurva $\Delta\rho / \rho_0$ terhadap medan magnet $CaMnO_3$ *milling* 9 jam dan dipanaskan dengan suhu 1000 °C selama 3 jam



Gambar 2. Kurva $\Delta\rho / \rho_0$ terhadap medan magnet $CaMnO_3$ *milling* 12 jam dan dipanaskan dengan suhu 1000 °C selama 9 jam

Dari seluruh grafik yang sudah ditampilkan, jika mengambil 2 kurva ekstrem yaitu pada saat sampel di*milling* selama 9 jam dan dipanaskan selama 3 jam (Gambar 1) lalu membandingkannya dengan sampel yang di*milling* selama 12 jam dan dipanaskan selama 9 jam (Gambar 2), maka dapat dilihat bahwa semakin lama waktu *milling* dan pemanasan yang dilakukan pada sampel maka rasio magnetoresistansinya akan semakin meningkat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil akhir yang diperoleh pada perhitungan ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu relaksasi tercepat yang diperoleh secara teori memiliki nilai sekitar 4,16 x 10^{-13} detik, waktu ini diperoleh ketika melakukan *milling* sampel selama 9 jam dan mengalami proses pemanasan pada suhu 1000 °C selama 3 jam.
2. Waktu relaksasi terlama yang diperoleh secara teori memiliki nilai sekitar 4,44 x 10^{-12} detik, waktu ini diperoleh ketika melakukan *milling* sampel selama 12 jam dan mengalami proses pemanasan pada suhu 1000 °C selama 9 jam.
3. Dari analisis yang sudah dilakukan juga dapat disimpulkan bahwa waktu relaksasi secara teori berbanding lurus terhadap proses lama *milling* dan lama pemanasan

DAFTAR ACUAN

[1]. J.Z. SUN, *Phyics Journal*, (1998)

[2]. A.IGNOTOV, S.KHALID, R.SUJOY and N. ALI, *J. Synchotron Rad*., **8** (2001) 898 - 900

[3]. A. MORED, S. YUNOKI, and E DAGOTTO, *Science*, **283** (2034), (1999)

[4]. YIING-REI CHEN and PHILIP B. ALLEN, arXiv:cond-mat/0101354, (2001)

[5]. ALESSIO FILIPPETTI and NICOLA A. SPALDIN, arXiv:cond-mat/0303293, (2003)

[6]. E.GRANADO, C.D.LING, JJ.NEUMEIER, J. W.LYNN, and D.N. ARGYRIOU, arXiv:cond-mat/0303311, (2003)

[7]. C.D.LING, E GRANADO, JJ. NEUMEIER, J. LYNN, and D.N.ARGYRIOU, arXiv:cond-mat/0303316, (2003)

[8] J.J. NEUMEIER and J.L. CHON, *Phys. Rev. B*, **61** (2000) 14319