

PENGARUH KANDUNGAN Co TERHADAP SIFAT OPTIK FILM TIPIS TiO₂-Co YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE MOCVD

E. Supriyanto^{1,2}, G. Wiranto³, I.D.P. Hermida³, M. Budiman¹,
P. Arifin¹, Sukirno¹ dan M. Barmawi¹

¹Program Studi Fisika, FMIPA-ITB

Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

²Jurusan Fisika, FMIPA-Universitas Jember

Jl. Kalimantan III/24, Jember 68121

³Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET-LIPI),

Jl. Sangkuriang, Bandung 40135

ABSTRAK

PENGARUH KANDUNGAN Co TERHADAP SIFAT OPTIK FILM TIPIS TiO₂-Co YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE MOCVD. Film tipis TiO₂-Co telah ditumbuhkan di atas substrat Si (100) tipe-n dengan metode *metalorganic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)*, menggunakan *Titanium (IV) isopropoxide* (Ti(OCH(CH₃)₂)₄) dan *tris (2,2,6,6-tetra methyl-3, 5-heptanedionato) cobalt (III)* [Co(TMHD)₃], masing-masing dengan kemurnian 99,99% dan 99% sebagai prekursor metal organik. *Tetrahydrofuron (THF)* digunakan sebagai pelarut bahan prekursor. Sifat optik dari film tipis TiO₂-Co sebagai fungsi dari kandungan Co telah diinvestigasi menggunakan metode spektroskopi reflektansi pada rentang 200 nm hingga 2400 nm. Hasil karakterisasi secara optik menunjukkan bahwa bertambahnya konsentrasi Co akan menurunkan energi *band-gap* (*E_g*) dan indeks bias (*n*) dari film tipis TiO₂-Co tersebut. Kurva histeresis yang diperoleh melalui pengukuran *VSM* memiliki nilai koersivitas dan saturasi magnetik, masing-masing sebesar 100 Oe dan 280 emu/cm³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa film tipis yang dihasilkan pada penelitian ini bersifat *soft ferromagnetic*, yang sangat potensial untuk diaplikasikan dalam teknologi spintronik.

Kata kunci : *Band-gap*, Spintronik, Ti_{1-x}Co_xO₂, MOCVD, Feromagnetik, Indeks bias

ABSTRACT

INFLUENCE OF CO CONCENTRATION ON OPTICAL PROPERTIES OF TiO₂-Co THIN FILMS DEPOSITED BY MOCVD METHOD. The TiO₂-Co thin films were grown on (100) n-type Si substrate by *Metalorganic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)* method, using *Titanium (IV) isopropoxide* (Ti(OCH(CH₃)₂)₄) 99.99% and *tris (2,2,6,6- tetra methyl-3, 5-heptanedionato) cobalt (III)* [Co(TMHD)₃] 99% as metal organic precursors. *Tetrahydrofuron (THF)* was used as a solvent precursor. The optical properties of the resulting TiO₂-Co thin films have been characterized as a function of Co content using reflectance spectroscopic method in the range of 200-2400 nm. The results showed that the band-gap energy (*E_g*) and the refractive index (*n*) of the film decreased with increasing Co concentration. Hysteresis curves, obtained from *VSM* measurement, have coercive and saturation magnetic fields of 100 Oe and 280 emu/cm³, respectively. It can be concluded that the TiO₂-Co thin films act as soft ferromagnetic materials, which is very potential for spintronic technology application.

Key words : *Band-gap*, Spintronic, Ti_{1-x}Co_xO₂, MOCVD, Ferromagnetic, Refractive index

PENDAHULUAN

Spintronik telah muncul sebagai suatu teknologi menarik di mana kedua derajat kebebasan yaitu muatan dan *spin* dimanfaatkan sebagai kemampuan terbarukan di dalam divais yang merupakan kombinasi mikroelektronik standar dengan efek kebergantungan *spin*. Bidang ini telah diusahakan sebagai bidang yang

menjanjikan di dalam semikonduktor elektronika [1,2]. Untuk merealisasikan divais spintronik, diperlukan adanya semikonduktor terhibrid dengan material magnetik *spin* terpolarisasinya. Sampai sekarang, heterostruktur berbasis pada logam feromagnetik/semikonduktor telah secara intensif diteliti [3,4].

Berdasarkan hasil penelitian telah dibuktikan adanya kendala untuk mentransfer elektron melewati antar-muka dengan *spin* tetap terpolarisasi, terutama berkaitan dengan ketidaksesuaian konduktivitas elektrik antara dua material tersebut [5]. Oleh karena itu, banyak usaha riset baru-baru ini dipusatkan pada pengembangan semikonduktor feromagnetik yang tidak hanya mudah dapat dipadukan dengan semikonduktor yang telah ada tetapi juga mempunyai *spin* terpolarisasi *highly* [6,7]. Diantara material tersebut adalah GaAs di *doping* Mn telah berhasil ditumbuhkan untuk pertama kali [6]. Material tersebut telah menunjukkan kinerja yang menjanjikan dalam koherensi transfer spin elektron [8], tetapi suhu *Curie* (T_C) dari material ini masih terbatas sekitar 160 K. Terobosan paling utama di dalam bidang ini adalah usaha meninggikan T_C diatas suhu kamar dalam rangka mewujudkan divais yang praktis, dapat dioperasikan pada suhu-kamar. Oleh karena itu, berbagai semikonduktor *host* dan *dopan* dengan elemen logam transisi telah diuji untuk merealisasikan semikonduktor feromagnetik yang dapat dioperasikan pada suhu kamar.

TiO₂ di *doping* Co dengan fasa *anatase*, telah ditumbuhkan dengan *pulsed laser deposition*, menunjukkan sifat feromagnetik sampai dengan 400 K [9] menggunakan teknik *combinatorial Molecular Beam Epitaxy* (MBE) dengan pendadahan sampai disekitar 8 atomik %. Titanium dioksida merupakan semikonduktor dengan celah pita energi lebar dan mempunyai tiga struktur fasa kristal yang berbeda, yaitu *rutile*, *anatase* dan *brookite*. Pada umumnya *rutile* adalah satu-satunya fasa yang stabil, sedangkan *anatase* adalah *metastable* dan berubah bentuk ke *rutile* pada saat dipanaskan. Pada penelitian struktur magnetik yang sebenarnya diamati di dalam TiO₂ *doping* Co adalah *anatase* bukan pada fasa *rutile*, sehingga disimpulkan bahwa magnetisasi sangat bergantung pada impuritas atom lokal yang melingkupi sekitarnya. Baru-baru ini, telah dengan sukses menumbuhkan film tipis TiO₂-Co feromagnetik *rutile* sebagai material *DMS* dengan metode *sputtering* [10]. Atom Co telah dimasukkan sampai 12 atomik % dan suhu *Curie* diperkirakan di atas 400 K.

Sejak fasa *rutile* lebih stabil secara termodinamika dibandingkan dengan fasa *anatase*, maka fasa *rutile* sangat potensial untuk diaplikasi secara teknis. Metode penumbuhan yang berbeda akan dihasilkan film tipis TiO₂-Co dengan sifat yang berbeda pula. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan lokal Co dapat mempengaruhi secara drastis terhadap struktur magnetik dari material tersebut. Struktur lokal di sekitar Co menjadikan film memiliki fasa *anatase*, sedangkan nanomaterials mengalami perubahan fasa *anatase* ke fasa *rutile* dengan *annealing* pada suhu yang berbeda terhadap film tipis TiO₂-Co yang dideposisikan dengan metode *sol gel* [11].

Uraian di atas nampak bahwa karakteristik dari film tipis TiO₂ di *doping* Co sangat bergantung pada teknik dan kondisi penumbuhan. Oleh karena itu, jelas

bahwa teknik deposisi TiO₂ di *doping* Co merupakan suatu central isu. *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) merupakan suatu teknik paling utama untuk menumbuhkan film tipis dengan kemurnian tinggi, *epitaxial* film dapat diaplikasikan di dalam bidang elektronik dan optoelektronik [12]. Di dalam teknik ini, material metalorganik digunakan sebagai prekursor dan mempunyai banyak keuntungan, seperti stoikiometri film dapat dengan mudah dikendalikan secara *in situ*, laju deposisi tinggi pada suhu rendah, ketebalan seragam pada area yang luas, sesuai untuk sampel dengan permukaan yang tidak beraturan dan permukaan relatif halus.

Teknik ini dapat untuk menumbuhkan oksida dengan biaya rendah dan parameter penumbuhan film tipis dapat dengan mudah dikendalikan. Pada sisi lain, prekursor metal organik mempunyai keunggulan karena mudah diuapkan dan dekomposisi ke dalam oksida pada suhu rendah dan secara komersial tersedia dengan kemurnian tinggi dan harganya murah [13].

Pemakaian dua macam prekursor yang digabungkan dalam satu *bubbler* dan tanpa pemakaian gas O₂ dalam penumbuhan film tipis merupakan nilai baru dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Di dalam makalah ini, film tipis TiO₂-Co ditumbuhkan diatas substrat Si(100) dengan teknik *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) vertikal. Pada penelitian ini pengaruh kandungan Co pada struktur, strukturmikro dan sifat optik film tipis TiO₂-Co akan di paparkan.

METODE PERCOBAAN

Film tipis TiO₂-Co ditumbuhkan di atas substrat Si [100] tipe-n dengan menggunakan suatu sistem reaktor MOCVD yang dibangun sendiri di laboratorium Fisika Material Elektronika-Program Studi Fisika- ITB. Sebelum digunakan substrat Si [100] dicuci dengan aseton selama 5 menit, kemudian dengan metanol selama 5 menit, tahap terakhir dimasukkan dalam larutan 10 % HF dicampur dengan *DI-water* (*de-ionized water*) selama 2 menit. Pencucian dengan aseton dan metanol adalah untuk menghilangkan zat-zat organik yang menempel di permukaan substrat, sementara HF yang dicampur dengan air adalah untuk mengikis lapisan SiO₂ yang mungkin terjadi di permukaan substrat akibat proses oksidasi selama berada di udara bebas. Kemudian substrat di semprot dengan gas N₂ dengan tingkat kemurnian 99,999%. Substrat di tempelkan di permukaan plat pemanas di dalam ruang penumbuhan dengan menggunakan pasta perak yang konduktif.

Prekursor metalorganik yang digunakan pada penelitian ini adalah *titanium (IV) isopropoxide* (TTIP) [Ti(OCH(CH₃)₂)₄] 99,99% yang berbentuk cair pada suhu ruang dengan titik leleh 20°C (*Sigma Aldrich Chemical Co., Inc.*) dan *tris* (2,2,6,6-tetramethyl-

3, 5-heptanedionato) cobalt (III), 99%, Co(TMHD)₃ (Strem Chemical, Inc.). Co(TMHD)₃ berbentuk serbuk. Bahan ini dilarutkan ke dalam pelarut tetrahydrofuran (THF, C₄H₈O) untuk memperoleh prekursor dalam bentuk cair dengan konsentrasi 0,1 mol per liter. Hasil larutan dan juga bahan cair (Ti(OCH(CH₃)₂)₄) kemudian dicampurkan dengan perbandingan 1:5 selanjutnya dimasukkan ke dalam satu *bubbler*.

Bubbler tersebut dihubungkan dengan suatu sistem perpipaan ke ruang deposisi. Bahan prekursor yang telah dimasukkan ke dalam *bubbler*, kemudian diuapkan memakai plat pemanas sesuai dengan titik uap bahan. Uap bahan prekursor dialirkan ke ruang deposisi untuk menghujani permukaan substrat dengan menggunakan gas argon (Ar) sebagai gas pembawa. Tekanan uap pada *bubbler* dikendalikan memakai suatu katub pengendali. Bersama dengan proses pemanasan *bubbler*, ruang deposisi divakumkan sampai ke tekanan 3 x 10⁻³ Torr dan substrat yang terletak di dalamnya dipanaskan. Parameter penumbuhan film tipis TiO₂:Co selengkapnya didaftarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter penumbuhan dari film tipis TiO₂-Co [15]

No	Parameter Penumbuhan	
1	Temperatur Substrat Si(T _s)	(450) °C
2	Temperatur bubbler prekursor TTIP+ Co(TMHD) ₃ [T _{b(Ti+Co)}]	50 °C
3	Tekanan uap prekursor TTIP+ Co(TMHD) ₃ [P _{b(Ti+Co)}]	206 Torr
4	Laju aliran gas Ar yang membawa uap TTIP+ Co(TMHD) ₃ [Ar _(Ti+Co)]	(20-100) sccm
5	Tekanan total penumbuhan (P _{total})	3x10 ⁻³ Torr
6	Lama penumbuhan	2 jam

Film tipis TiO₂-Co yang telah ditumbuhkan selanjutnya dikarakterisasi. Prosentase konsentrasi atom penyusun film diukur dengan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)* (Jeol JSM 6360LA). Struktur kristalnya diinvestigasi dengan *X-Ray Diffractometer (XRD)* dengan menggunakan radiasi Cu K_α (λ=1,54056Å) (Philips PW3071). Ketebalan dan

morfologi butiran penyusun film dianalisis dari hasil citra *Scanning Electron Microscope (SEM)* (Jeol JSM 6360LA).

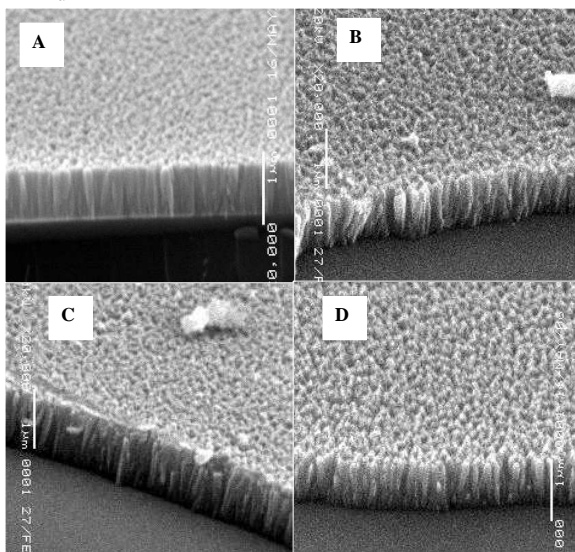
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini film tipis TiO₂:Co yang ditumbuhkan memiliki kandungan Co yang berbeda-beda. Laju aliran gas Ar yang digunakan dalam penumbuhan sangat menentukan besarnya kandungan Co di dalam film tipis. Film yang ditumbuhkan dengan laju aliran Ar = 70 sccm menghasilkan kandungan Co sebesar 3.2%, yang memakai laju Ar = 80 sccm menghasilkan kandungan Co sekitar 3,8 %, memakai laju Ar = 90 sccm menghasilkan kandungan Co sekitar 5,9 % dan yang menggunakan laju Ar = 100 sccm menghasilkan kandungan Co sekitar 6,4 %. Penambahan nilai laju aliran gas Ar akan menambah nilai kandungan Co di dalam film.

Gambar 1 menunjukkan citra SEM penampang lintang film tipis TiO₂-Co dengan kandungan Co sebesar (A) 3,2 %, (B) 3,8 %, (C) 5,9 % dan (D) 6,4 %. Film tersusun dari sekumpulan butiran yang bentuknya kolumnar dan tegak lurus terhadap permukaan substrat Si [100]. Butiran dan batas-batasnya terlihat sangat jelas, yang secara langsung menyatakan bahwa hubungan antar butir sangat kuat. Atom-atom yang terdapat pada batas antar butir telah dengan baik memposisikan diri sesuai dengan susunan atom butiran induknya. Butiran memiliki bentuk yang relatif seragam, memanjang dari permukaan substrat sampai ke permukaan film. Hasil ini memperlihatkan bahwa film yang ditumbuhkan bebas dari hadirnya fasa pengotor yang dapat mengganggu proses penumbuhan butiran pada saat penumbuhan.

Ukuran rata-rata butiran setiap film berbeda. Tingkat kekasaran suatu permukaan film dapat dipengaruhi oleh 4 faktor [15]. Faktor dominan yang paling berpengaruh terhadap variasi kekasaran permukaan film tipis TiO₂-Co yang ditunjukkan pada Gambar 1 adalah tingkat kandungan Co dalam membentuk stoikiometri TiO₂-Co. Semakin besar kandungan atom Co maka morfologi permukaan film terdiri dari butiran yang lebih besar. Dalam hal ini atom-atom Co dipandang sebagai pengotor pada bahan TiO₂.

Pengaruh presentasi kandungan Co terhadap sifat optik film tipis TiO₂-Co telah diteliti pada suhu ruang dengan menggunakan *spectroscopy reflektance optical NIR-UV*. Gambar 2 memperlihatkan spektrum reflektansi optik dari film tipis TiO₂-Co. Puncak osilasi terakhir dari spektrum reflektansi menunjukkan transisi *band-to band* film tipis yang merupakan nilai energi bandgap dari film itu. Energi gap dari film tipis TiO₂-Co yang ditumbuhkan dengan kandungan Co sebesar (A) 3,2 %, (B) 3,8 % (C) 5,9 % dan (D) 6,4 % adalah 3,52 eV, 3,5 eV, 3,41 eV dan 3,39 eV. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa dengan



Gambar 1. Citra SEM penampang lintang film tipis TiO₂-Co dengan kandungan Co sebesar (A) 3,2% (B) 3,8% (C) 5,9% dan (D) 6,4%

bertambahnya kandungan Co akan menyebabkan berkurangnya energi *gap* film tipis TiO₂-Co.

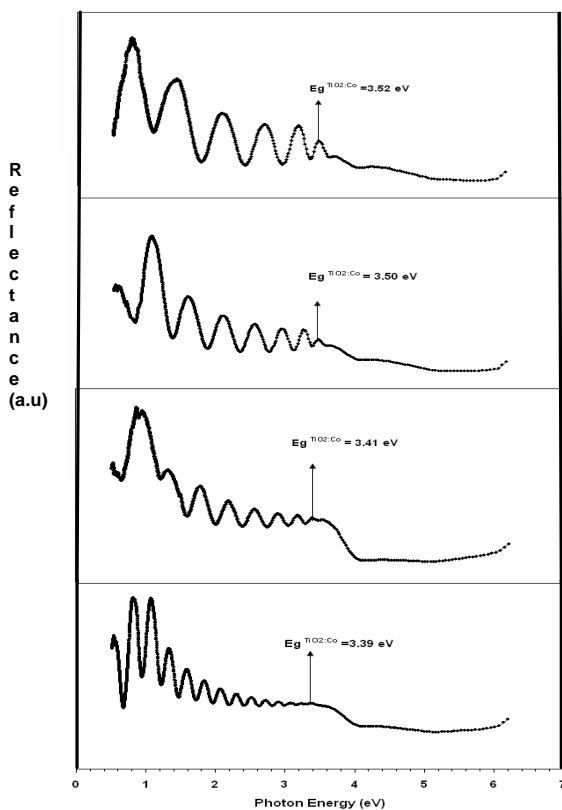
Besarnya indek bias film tipis dapat dihitung memakai rumus [16]

$$\Delta n = \frac{n_{av} \Delta R}{4.4R_s}$$

dimana

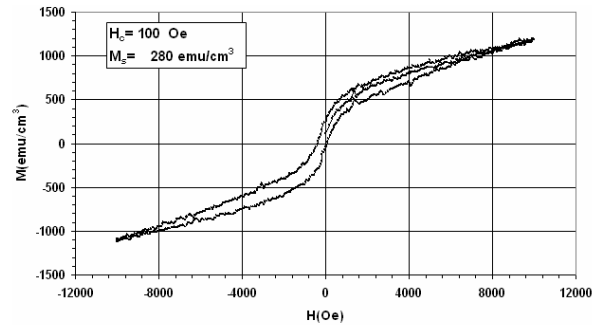
- n_{av} = Indeks rata-rata film tipis
- R_s = Reflektansi substrat
- ΔR = Reflektansi film tipis- reflektansi substrat

Film tipis TiO₂-Co dengan kandungan Co sebesar (A) 3,2 %, (B) 3,8% (C) 5,9 % dan (D) 6,4 % akan mempunyai indek bias sebesar 2,61; 2,59; 2,52 dan 2,5.



Gambar 2. Spektrum reflektansi optik film tipis TiO₂-Co yang ditumbuhkan diatas substrat Si [100] dengan presentasi kandungan Co sebesar (A) 3,2 %, (B)3,8% (C)5,9 % dan (D) 6,4 %

Respon feromagnetik dari film tipis TiO₂-Co (salah satu sampel) diuji dengan VSM pada suhu ruang. Kurva histeresis ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai H_c dan M_s masing-masing sebesar 100 Oe dan 280 emu/cm³. Dengan demikian konstan anisotropinya adalah K= 14000 Oe.emu/cm³. Nilai magnetisasi saturasi (M_s) yang secara implisit menunjukkan respon fluks magnetik ion-ion magnetik film. Sementara, nilai medan magnetik koersif (H_c) film, menunjukkan sifat anisotropi magnetik, terentang pada nilai 80 Oe sampai dengan 1000 Oe. Mengacu pada nilai anisotropi tersebut maka film tipis TiO₂-Co yang dihasilkan pada penelitian ini termasuk



Gambar 3. Kurva histeresis magnetisasi film tipis TiO₂-Co pada suhu ruang (300 K) yang ditumbuhkan pada 4500C.

golongan feromagnetik lembut (*soft ferromagnetic*), sehingga sangat potensial untuk diaplikasikan dalam teknologi spintronik.

Pada kesempatan lain akan dipaparkan tentang karakteristik magnetik film tipis TiO₂-Co dengan kandungan Co yang berbeda-beda. Pada pengukuran itu diharapkan akan diperoleh informasi tentang nilai H_c dan M_s dari setiap film dengan kandungan Co yang berbeda-beda.

KESIMPULAN

Film tipis TiO₂-Co telah berhasil dengan baik ditumbuhkan di atas substrat Si [100] dengan menggunakan metode MOCVD. Pemakaian prekursor Titanium (IV) isopropoxide [Ti(OCH(CH₃))₂]₄ dan tris (2,2,6,6- tetra methyl-3, 5-heptanedionato) cobalt (III) (Co(TMHD)₃) dan Tetrahydrofuron (THF) digunakan sebagai pelarut bahan prekursor, selanjutnya kedua prekursor dimasukkan dalam satu bubbler. Film tipis yang diperoleh dalam penelitian ini mempunyai kualitas yang sama dengan penelitian yang pernah dilakukan.

Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya kedua prekursor dipisah dan memakai gas O₂ sebagai sumber O. Semakin besar presentasi kandungan atom Co dalam film tipis TiO₂-Co akan menyebabkan berkurangnya energi *band-gap* dan indek bias dari film. Film tipis yang terdeposisi pada penelitian ini memiliki morfologi dan ketebalan yang sangat homogen untuk ukuran substrat 3 cm x 3 cm. Dari hasil karakteristik respon magnetik film menunjukkan sifat magnetik lembut, sehingga sangat potensial diaplikasi dalam bidang spintronik.

DAFTAR ACUAN

- [1]. B. T. JONKER, Y. D. PARK, B. R. BENNETT, H. D. CHEONG, G. KIOSEOGLOU and A. PETROU, *Phys. Rev. B*, **62** (2000) 8180
- [2]. I. MALAJOVICH, J. J. BERRY, N. SARMATH, and D. D. AWSCHALOM, *Nature*, **411** (2001) 770
- [3]. M. JOHNSON, *Physica E*, **10** (2001) 472
- [4]. J. A. C. BLAND, A. HIROHATA, C. M. GUERTLER, Y. B. XU, and M. TSELEPI, *J. Appl. Phys.*, **89** (2001) 6740

- [5]. G. SCHMIDT and L. W. MOLENKAMP, *J. Appl. Phys.*, **89** (2001) 7443
- [6]. H. OHNO, A. SHEN, F. MATSUKURA, A. OIWA, A. ENDO, S. KATSUMOTO, and Y. IYE, *Appl. Phys. Lett.*, **69** (1996) 363
- [7]. H. AKINAGA, S. NE'METH, J. DE BOECK, L. NISTOR, H. BENDER, G. BORGHS, H. OFUCHI, and M. OSHIMA, *Appl. Phys. Lett.*, **77** (2000) 4378
- [8]. Y. OHNO, D. K. YOUNG, B. BESCHOTEN, F. MATSUKURA, H. OHNO, and D. D. AWSCHALOM, *Nature*, **402** (1999) 790
- [9]. Y. MATSUMOTO, M. MURAKAMI, T. SHONO, T. HASEGAWA, T. FUKUMURA, M. KAWASAKI, P. AHMET, T. CHIKYOW, S. KOSHIHARA, and H. KOINUMA, *Science*, **291** (2001) 854
- [10]. W.K. PARK, R.J. ORTEGA-HERTOGS, J.S. MOODERA, A. PUNNOOSE, and M.S. SEEHRA, *J. Appl. Phys.*, **91** (2002) 8093
- [11]. N.J. SEONG, S.G. YOON, and C.R. CHO, *Appl. Phys. Lett.*, **81** (2002) 4209
- [12]. D.M. DOBKIN, M.K. ZURAW, *Principles of Chemical Vapor Deposition*, Kluwer Academic Publishers, (2003)
- [13]. SANDELL, M.P. ANDERSON, Y. ALFEDSSON, M.K.J. JOHANSSON, J. SCHNEDT, H. RENSMO, H. SIEGBAHN and P. UVDAL, *J. Appl. Phys.*, **92** (2002) 3381
- [14]. H. SARAGIH, dkk, Studi Pengaruh Konsentrasi Co pada Struktur Kristal dan Respon Photoluminescence Film Tipis $Ti_{1-x}Co_xO_2$ yang Ditumbuhkan dengan Teknik MOCVD, *Proceedings ITB Sains & Teknologi*, **37A** (2005) 117
- [15]. EDY SUPRIYANTO, A. SUBAGIO, H. SUTANTO, H. SARAGIH, P. ARIFIN, M. BUDIMAN, M. BARMAWI dan SUKIRNO, Studi Penumbuhan Film Heterostruktur TiO_2 -Co/TTIP- Y_2O_3 -Eu yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD, *Seminar Nasional Keramik VI*, Bandung, (2007)
- [16]. M. H. SUHALL, G. MOHAN RAO and S. MOHAN, *J. Appl. Phys.*, **71** (3) (1992) 1421