

**PENUMBUHAN FILM TIPIS SEMIKONDUKTOR
FERROMAGNETIK GaN:Mn MENGGUNAKAN METODE *PLASMA
ASSISTED METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (PA-
MOCVD)* DAN KARAKTERISASINYA**

Oleh
Budi Mulyanti
NIM : 30201015

Tim Pembimbing
Dr. Sukirno
Prof. Dr. M. Barmawi
Dr. Pepen Arifin
Dr. Maman Budiman

Film tipis semikonduktor adalah suatu material/bahan yang bersifat semikonduktor berbentuk film (lapisan tipis) dalam orde mikrometer yang dapat dipergunakan sebagai komponen elektronika. Bahan yang telah lama dikenal dalam industri semikonduktor adalah silikon (Si) dan germanium (Ge). Pada awal tahun 1990, para peneliti mulai mengembangkan material/bahan semikonduktor paduan antara Ga dan N, yang dikenal dengan nama semikonduktor paduan galium nitrida (GaN). Film tipis GaN ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan Si atau Ge, yaitu cocok untuk aplikasi komponen elektronika yang bekerja pada daya dan temperatur tinggi. Film tipis GaN ini telah diaplikasikan pada pada divais/komponen elektronik seperti LED (*light emitting diode*), detektor sinar UV (ultra violet), HMET (*high electron mobility transistor*), HFET (*heterostructure field effect transistor*) dan lain-lain.

Dalam beberapa tahun terakhir ini, para peneliti dari Jepang, Amerika Serikat dan Eropa telah mengembangkan suatu material baru berdasarkan semikonduktor paduan GaN yang diberi tambahan (doping) 0,1 – 10 % ion magnetik mangan (Mn), yaitu material galium mangan nitrida (GaN:Mn). Doping ion magnetik (dalam hal ini Mn) ke dalam GaN ini bertujuan agar film tipis GaN yang dihasilkan memiliki sifat ferromagnetik pada temperatur kamar, di samping sifat semikonduktor. Dengan demikian, film tipis GaN:Mn ini dapat diplikasikan dalam suatu divais/piranti elektronik yang dikenal dengan nama divais spintronik, yaitu divais elektronik yang bekerja dengan cara memanfaatkan spin elektron untuk mengontrol pergerakan elektron.

Bahan/material ferromagnetik adalah hal yang terpenting dalam divais spintronik. Jika digunakan bahan/material ferromagnetik dalam komponen elektronik, maka di samping berperan untuk mendorong arus elektron, tegangan juga berperan sebagai sumber pensejajar spin menjadi "spin-up" atau "spin-down". Divais spintronik yang paling dasar dan penting adalah *magnetik tunnel junction* (MTJ). Divais ini terdiri dari dua lapisan

material ferromagnetik yang dipisahkan oleh lapisan bukan ferromagnetik yang sangat tipis. Jika spin-spin elektron pada kedua sisi material ferromagnetik memiliki orientasi (arah) yang sama, maka tegangan yang diberikan akan menyebabkan elektron-elektron menerobos (*tunnel*) melalui lapisan batas, sehingga mengalir arus yang tinggi. Namun jika spin-spin elektron pada kedua sisi lapisan ferromagnetik memiliki orientasi yang berbeda, maka akan menghalangi arus untuk mengalir. MTJ adalah basis MRAM yang dikembangkan oleh Motorola, Inc. dan IBM, Corp, satu per sel memori (Zorpette, 2001).

Divais lain yang terus dikembangkan oleh para peneliti adalah Spin-FET (*Spin field effect memory*). Dalam divais FET biasa, logam *gate* berperan untuk mengontrol *source* dan *drain*. Tegangan yang diberikan kepada *gate* mengatur medan listrik, dan medan tersebut mengubah-ubah jumlah arus yang mengalir antara *source* dan *drain*. Sedangkan dalam Spin-FET, tegangan bias yang diberikan pada *gate*, akan menyebabkan medan listrik dapat berperan juga sebagai medan magnet, sehingga menyebabkan pergerakan elektron dengan arah (orientasi) spin tertentu dari *source* ke *drain* dan dapat mengubah orientasi spin tersebut. Dengan demikian spin elektron akan terpolarisasi dalam arah berlawanan dengan *drain*, dan tidak dapat memasuki *drain* dengan mudah atau tidak ada arus yang mengalir. Dapat disimpulkan bahwa tegangan dalam Spin-FET untuk menghasilkan arus mengalir (*on*) atau tidak mengalir (*off*) hanya diperlukan energi yang kecil karena hanya perlu mengubah orientasi spin.

Dalam penelitian ini telah dihasilkan suatu bahan/material semikonduktor GaN:Mn yang memiliki sifat semikonduktor dan ferromagnetik pada temperatur kamar, yang berbentuk film/lapisan tipis dengan ketebalan 0,3-0,6 μm . Metode yang digunakan dalam penumbuhan film tipis GaN:Mn ini adalah metode *plasma-assisted metal organic chemical vapor deposistion* (PA-MOCVD) yang merupakan pengembangan dari metode *metal organic chemical vapor deposistion* (MOCVD) thermal.

Metode MOCVD adalah suatu metode penumbuhan film tipis semikonduktor berdasarkan reaksi uap kimia di dalam suatu lingkungan kimia yang terkontrol (reaktor). Dengan bantuan plasma (yaitu gas nitrogen yang terionisasi), penumbuhan GaN:Mn dapat dilakukan pada temperatur yang lebih rendah, yaitu 625 - 700 $^{\circ}\text{C}$. Sampai saat ini, temperatur penumbuhan yang rendah untuk film tipis GaN:Mn ini belum pernah dilaporkan oleh peneliti lain. Dengan metode MOCVD thermal, yang dilaporkan untuk penumbuhan GaN:Mn relatif sangat tinggi, yaitu dalam rentang 850 ~ 1100 $^{\circ}\text{C}$.

Penumbuhan film tipis GaN:Mn pada temperatur yang rendah ini memiliki beberapa keunggulan. Pertama, dari segi pengoperasian peralatan reaktor yang menjadi lebih mudah dan murah. Kedua dapat dihasilkan kristal tunggal GaN:Mn dengan konsentrasi Mn yang lebih tinggi (yaitu 6,4 %) dibandingkan dengan yang dihasilkan melalui metode MOCVD thermal (yaitu 2,3 %). Konsentrasi Mn yang lebih tinggi ini mengakibatkan adanya peningkatan sifat magnetik film tipis GaN:Mn. Sifat magnetik ini ditunjukkan oleh kurva histeresis yang memperlihatkan harga momen magnetik per atom Mn yang cukup tinggi yaitu sebesar 3,7 μ_B . Sedangkan harga momen magnetik tertinggi yang dilaporkan untuk film GaN:Mn yang ditumbuhkan dengan metode MOCVD thermal adalah sebesar 3,4 μ_B .

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Randudongkal, Pemalang (Jawa Tengah) pada 9 Januari 1963. Setelah menyelesaikan SMA di kota Pemalang, pada tahun 1981 penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung dan memperoleh gelar sarjana pada tahun 1987.

Setahun setelah kembali ke Tanah Air, yaitu pada tahun 1994 penulis diterima sebagai staf pengajar pada Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis melanjutkan pendidikan S2 pada tahun 1995 dalam bidang keahlian Fisika Material Elektronik, Departemen Fisika ITB di bawah bimbingan Prof. M. Barmawi dan memperoleh gelar Magister Sains pada tahun 1997.

Sejak tahun 2001, penulis menempuh pendidikan S3 dalam bidang keahlian yang sama, Fisika Material Elektronik, Program Studi Fisika ITB di bawah bimbingan dan Dr. Sukirno, Prof. M. Barmawi, Dr. Pepen Arifin, dan Dr. Maman Budiman dengan beasiswa dari Dirjen Dikti melalui Beasiswa Program Pascasarjana (BPPs).

Dalam rangka menyelesaikan program S3, penulis terlibat langsung dalam Proyek Penelitian The Asahi Glass Foundation, dengan topik *Study of Mn Incorporation Into GaN:Mn Magnetic Semiconductor Thin Films Prepared by Plasma Assisted MOCVD* dengan peneliti utama Dr. Pepen Arifin.

Penulis menikah dengan Hasanuddin Z. Abidin pada tahun 1985 dan diberi amanah satu orang putri yaitu Fatima Aulia Khairani (20 tahun) dan tiga orang putra, yaitu si kembar M. Hanif Abidin dan M. Ihsan Abidin (16 tahun), serta M. Ilman Abidin (11 tahun).

Daftar Publikasi:

1. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, P. Arifin, M. Budiman, , dan M. Barmawi, (2006): Study of Mn Incorporation Into GaN:Mn Magnetic Semiconductor Thin Films Prepared by Plasma Assisted MOCVD, *Proc of 2006 ICONN* (accepted)
2. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, E. Supriyanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, Mujamilah, dan M. Barmawi (2006): N-type Conductivity in Wurtzite Mn-doped GaN Thin Films Grown by Plasma Assisted MOCVD, *Journal of Mathematics and Science* (segera dipublikasikan).
3. **Budi Mulyanti**, Mujamilah, A. Subagio, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, Sukirno, dan M. Barmawi (2006): Sifat Struktur dan Sifat Magnetik Film Tipis GaN:Mn yang ditumbuhkan dengan Plasma Assisted MOCVD, *JUSAMI* (segera dipublikasikan).
4. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005): Effect of V/III Ratio on Mn Incorporation into GaN:Mn Thin Films Deposited by Plasma Assisted MOCVD, *Proc. of The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, MM11-09
5. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005): Temperature Dependence of Mn Incorporation into GaN:Mn Deposited Using Plasma Assisted MOCVD, *Proc. of Asian Physics Symposium (APS)*, 73-77
6. Fitri Suryani, **B. Mulyanti**, A. Supu, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005) The Dependence of Probability Distribution of Electron and Hole Fermi-Dirac Function on Size Fluctuation of GaN Quantum Dot Laser, *Proc. of The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, OL2-03
7. H. Sutanto, A. Subagio, **Budi Mulyanti**, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005): Influence of the Al concentration on Electrical Properties of AlGaIn Thin Films Grown on Si (111) Substrate by PA MOCVD, *Proc. of Asian Physics Symposium (APS)*, 204-207
8. Fitri S. Arsyad, **Budi Mulyanti**, H. Sutanto, A. Subagio, H. Saragih, E. Supriyanto, P. Arifin, dan M. Barmawi ((2005): Study of Crystal Structure and

- Surface Morphology of AlGa_N Thin Film Deposited by PA MOCVD, *Proc. of Asian Physics Symposium (APS)*, 438-441
9. **Budi Mulyanti**, Fitri S. Arsyad, M. Barmawi, Sri Jatno, P.Arifin, and M. Budiman (2004): Effect of Growth Parameters on Deposition Rate of Ga_{1-x} Mn_xN Thin Films Deposited Using Vertical Axisymmetric MOCVD Reactor, *Prosiding Seminar MIPA IV*, 41-44
 10. **Budi Mulyanti**, F. S. Arsyad, P.Arifin, M. Budiman, M.Barmawi, dan Sri Jatno W (2004): Dependence of Ga_{1-x} Mn_x Thin Films Growth on Substrate Temperature in Vertical MOCVD Reactor by Numerical Simulation, *Indonesian Journal of Physics*, **15**, 3, 59-63
 11. Fitri S. Arsyad, **B. Mulyanti**, M. Budiman, Sri Jatno, P. Arifin, dan M. Barmawi (2004): Pengaruh Geometri QD Kerucut Terhadap Probabilitas Distribusi Energi Transisi Optik, *Prosiding Seminar MIPA IV*, 206-208
 12. **Budi Mulyanti**, F.S. Arsyad, Soegianto S, M. Barmawi, dan Sri Jatno (2002): Simulasi Numerik Reaktor MOCVD Dengan Menggunakan FEMLAB, *Kontribusi Fisika Indonesia*, **13**,2, 1-6
 13. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, F. S. Arsyad, P.Arifin, M. Budiman, Z. Jamal, dan U. Hashim dan M. Barmawi (2006): Effect of Temperature and Mn incorporation on The Growth of GaN:Mn Thin Films Using Plasma Assisted MOCVD, *Proceeding ITB* (dalam proses review)

Daftar Seminar dan Konferensi yang diikuti:

1. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, P.Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi, (2006): Study of Mn Incorporation Into GaN:Mn Magnetic Semiconductor Thin Films Prepared by Plasma Assisted MOCVD, *Proc of 2006 ICONN*, Brisbane, Australia
2. **Budi Mulyanti**, Fitri S. Arsyad, M. Barmawi, Sri Jatno, P.Arifin, and M. Budiman (2003): Simulation of Ga_{1-x} Mn_xN Growth in the MOCVD Reactor, *The Annual Physics Seminar*, Bandung

3. **Budi Mulyanti**, Fitri S. Arsyad, H. Saragih, M. Barmawi, Sri Jatno, P. Arifin, and M. Budiman (2004): Effect of Growth Temperature on TiO₂ Deposited Using MOCVD, *The Annual Physics Seminar*, Bandung
4. Fitri S. Arsyad, **B. Mulyanti**, M. Budiman, Sri Jatno, P. Arifin, and M. Barmawi (2003): Analysis of Bias Effect to Electrical Properties of GaN Quantum Dots Based Laser Diode Using FEMLAB, *The Annual Physics Seminar*, Bandung
5. Fitri S. Arsyad, **B. Mulyanti**, M. Budiman, Sri Jatno, P. Arifin, dan M. Barmawi (2004): Effect of Shape and Size Fluctuation on Inhomogeneous Line of Broadening to GaN QD Based Laser, *The Annual Physics Seminar*, Bandung