

PENUMBUHAN MATERIAL DMS GaN:Mn DAN STRUKTUR GaN/GaN:Mn DI ATAS SUBSTRAT SILIKON DENGAN METODE PA-MOCVD UNTUK APLIKASI DIVAIS MTJ

Aip Saripudin⁽¹⁾, Budi Mulyanti⁽¹⁾, Pepen Arifin⁽²⁾

⁽¹⁾Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung. ⁽²⁾Lab Fisika Material Elektronik, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung

ABSTRAK

Struktur hetero GaN:Mn/GaN di atas substrat silikon telah berhasil ditumbuhkan. Film GaN ditumbuhkan di atas substrat silikon menggunakan metode PA-MOCVD (*plasma assisted metal organic chemical vapor deposition*) pada temperatur antara 650°C – 700°C. Sementara itu, film GaN:Mn dibuat di atas film GaN dengan menggunakan teknik implantasi ion Mn. Ion Mn diimplankan pada bagian atas film GaN. Keberhasilan penumbuhan struktur hetero GaN:Mn/GaN ditunjukkan melalui foto SEM dan karakterisasi EDX. Pengukuran sifat listrik menunjukkan bahwa ion pengotor Mn tidak mengubah sifat semikonduktor dari GaN sebagai semikonduktor induk.

Kata-kata Kunci: GaN, GaN:Mn, PA-MOCVD, Implantasi Ion, SEM, EDX

PENDAHULUAN

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 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).

Syarat utama agar suatu material dapat direalisasikan untuk divais spintronik adalah material tersebut bersifat ferromagnetik pada temperatur kamar dan memiliki efisiensi yang cukup tinggi ~ 100% untuk injeksi dan transport spin (Reed, 2003). Salah satu cara untuk terjadinya injeksi spin ke dalam material semikonduktor adalah dengan membuat logam ferromagnetik sebagai kontak. Namun efisiensi yang dilaporkan masih sangat rendah (Schmidt, *et al*, 2002) karena pembentukan lapisan antar muka dan kontak yang tidak sepenuhnya ohmik (Pearson, *et al*, 2003). Dengan demikian diperlukan suatu material baru, yaitu *diluted magnetic semiconductor* (DMS) (Ohno, *et al*, 1996) atau semikonduktor ferromagnetik (Ohno, *et al*, 1998) yang bersifat ferromagnetik pada temperatur kamar.

Material baru yang kini banyak dikembangkan oleh para peneliti adalah material GaN:Mn, karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan material DMS lain yaitu temperatur Curie (T_C) di atas temperatur kamar, ideal untuk injeksi spin dan

cocok dengan perkembangan teknologi semikonduktor yang telah mapan (*established*).

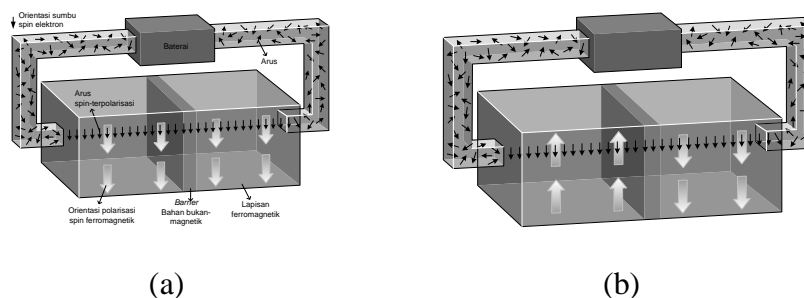
Penelitian ini akan difokuskan pada penumbuhan struktur hetero GaN:Mn/GaN di atas substrat silikon.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Divais MTJ

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. Adapun cara kerja divais ini diperlihatkan pada **Gambar 1**.

Mula-mula jika spin-spin elektron pada kedua sisi material ferromagnetik memiliki orientasi 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). Prinsip *magnetik tunnel junction* ini juga dikembangkan oleh Reed, *et al* (2005).



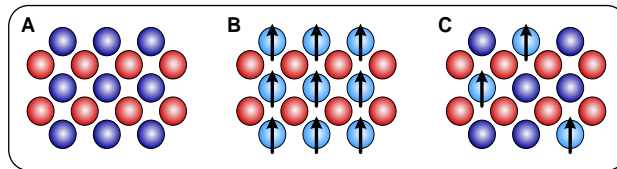
Gambar 1 Prinsip kerja *magnetik tunnel junction* (MTJ). Jika kedua lapisan ferromagnetik memiliki orientasi spin sama, maka akan mengalir arus spin terpolarisasi (a). Jika kedua lapisan ferromagnetik memiliki orientasi yang berbeda, maka tidak ada arus spin terpolarisasi (b) (Zorpette, 2001).

2. DMS

Pada awal perkembangannya, yaitu pada akhir tahun 1960 dan awal 1970, kedua sifat semikonduktor dan sifat ferromagnetik mula-mula ditemukan dalam satu material semikonduktor magnetik, misalnya dalam *Europium chalcogenides* (contoh: EuO) dan *Spinel semiconductor* (contoh: CdCr₂Se₄) yang memiliki elemen magnetik yang tersusun secara periodik (gambar II.2 B). Dalam semikonduktor magnetik tersebut, interaksi pertukaran (*exchange interaction*) antara elektron dalam pita semikonduktor dan elektron yang terlokalisasi pada ion magnet, dapat menghasilkan sifat-sifat penting seperti pergeseran celah pita energi ketika ferromagnetisme timbul. Namun penumbuhan kristal tersebut terkenal sulit karena diperlukan waktu berminggu-minggu untuk preparasi dan

penumbuhan kristal tunggal. Kesulitan lain yang menghambat penelitian tersebut adalah belum tersedianya semikonduktor yang memiliki kesesuaian kisi (misalkan silikon atau GaAs) untuk digunakan sebagai substrat atau dengan kata lain tidak cocok dengan teknologi semikonduktor yang telah ada (Ohno, 1998).

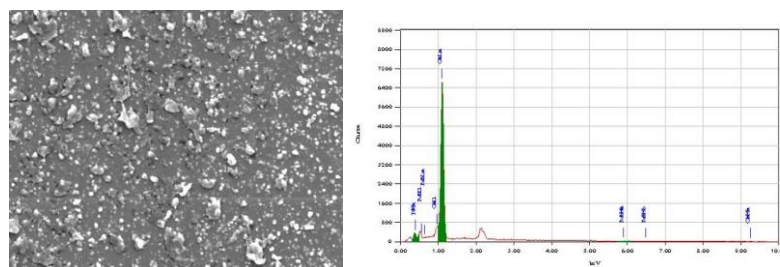
Generasi kedua semikonduktor ferromagnetik adalah semikonduktor non magnetik yang didadah dengan elemen magnetik (pada umumnya logam transisi). Ion magnetik yang berperan sebagai dopan ini memberikan momen magnetik spin dari elektron yang dimilikinya. *Alloy* antara semikonduktor nonmagnetik sebagai induk (*host*) dengan elemen magnet ini dikenal dengan *diluted magnetic semiconductor* (DMS) atau semikonduktor ferromagnetik dengan komposisi elemen magnetik yang sangat kecil, yaitu $< 2\%$ (gambar 2 c). Istilah "diluted" digunakan dalam material tersebut, karena konsentrasi elemen magnetik relatif kecil. Dengan menggunakan material DMS diharapkan terjadi injeksi spin dengan efisiensi yang tinggi dari lapisan DMS ke dalam lapisan semikonduktor bukan-magnetik.



Gambar 2 Klasifikasi material semikonduktor: (A) semikonduktor konvensional (B) semikonduktor magnetik dan (C) DMS (Ohno,1998).

HASIL DAN PEMBAHASAN

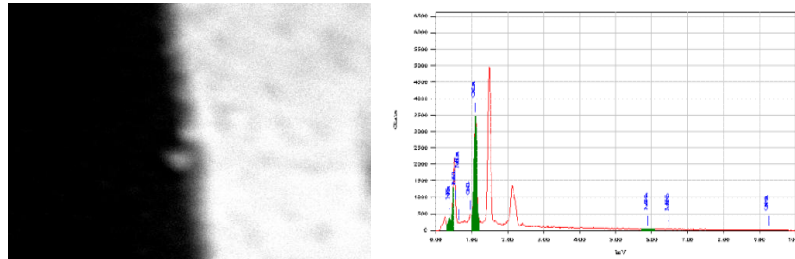
Penumbuhan film tipis GaN di atas substrat silikon dilakukan menggunakan metode PA-MOCVD (*Plasma Assisted Metal Organic Chemical Vapor Deposition*). Temperatur penumbuhan antara 650°C dan 700°C . Untuk melihat berhasil atau tidaknya penumbuhan film ini, SEM dan karakterisasi EDX dilakukan. Foto SEM dan EDX film salah satu sampel GaN diperlihatkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Hasil SEM dan EDX film tipis GaN

Hasil EDX menunjukkan bahwa puncak yang terjadi pada sekitar 0,4 keV adalah N dan pada sekitar 1 keV adalah Ga. Hal ini menunjukkan bahwa film GaN berhasil ditumbuhkan.

Selanjutnya, film GaN:Mn dibuat dengan teknik implantasi ion. Dengan teknik ini, berkas ion Mn ditembakkan pada film GaN. Ketebalan lapisan GaN yang didadah dengan ion Mn diatur sedemikian rupa sehingga hanya sebagian lapisan atas GaN yang terkotori Mn. Hasil SEM dan EDX salah satu sampel film GaN:Mn diperlihatkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Hasil SEM dan EDX film GaN:Mn

Gambar 5 menunjukkan hasil karakterisasi EDX salah satu sampel film GaN:Mn. Di sini terlihat bahwa puncak-puncak energinya adalah 0,302 keV, 1,098 keV, dan 5,894 keV berturut-turut untuk N, Ga, dan Mn. Hasil EDX juga menunjukkan bahwa prosentasenya masing-masing sebagai berikut: Ga = 27,25%, N = 72,13%, dan Mn = 0,57%. Hasil ini menunjukkan bahwa ion Mn berhasil diinkorporasikan ke dalam film GaN sehingga terbentuklah film GaN:Mn.

Ketebalan film GaN:Mn untuk setiap sampel juga lebih kecil daripada film GaN. Hal ini menunjukkan bahwa hanya lapisan bagian atas dari film GaN yang terkotori ion Mn melalui teknik implantasi. Fakta ini memang yang diharapkan karena kami ingin membentuk lapisan film GaN:Mn di atas film GaN. Dengan demikian, tujuan untuk membuat struktur berlapis (hetero) GaN:Mn/GaN telah berhasil dicapai.

SIMPULAN

Struktur hetero (berlapis) GaN:Mn/GaN telah berhasil dibuat dengan mengombinasikan metode PA-MOCVD dan teknik implantasi ion. Metode PA-MOCVD untuk menumbuhkan film GaN, sedangkan teknik implantasi ion untuk membentuk film GaN:Mn di atas film GaN.