

EVALUASI SEM DARI PROSES ETSA KIMIA BAHAN InP UNTUK PENGEMBANGAN LASER DIODA GaInAsP/InP

Dwi Bayuwati¹ dan Sekartedjo²

¹P3FT-LIPI, Kawasan PUSPIPTEK Serpong 15314

²Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh November, Kampus ITS Sukolilo Surabaya

ABSTRAK

EVALUASI SEM DARI PROSES ETSA KIMIA BAHAN InP UNTUK PENGEMBANGAN LASER DIODA GaInAsP/InP. Pada makalah ini diuraikan evaluasi SEM dari proses etsa pola struktur mikro pada bahan InP yang hendak digunakan untuk mengembangkan laser dioda berbasis GaInAsP/InP. Pembuatan struktur mikro dilakukan dengan alat fotolitografi BKJ-50 menggunakan mask berbentuk stripe lebar antara $10\ \mu\text{m} - 1\ \mu\text{m}$ dengan jarak antar strip $200\ \mu\text{m} - 1\ \mu\text{m}$. Sebagai larutan penetsa digunakan beberapa larutan yaitu campuran HBr, CH_3COOH dan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ serta Br-Methanol. Hasil proses fotolitografi dan etsa dengan campuran bahan HBr+ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 1:1:1$ (BCK-111) serta 0.6 % Br-methanol, masing-masing, pada substrat InP (100) menghasilkan lajur-lajur berbentuk mesa/groove dengan lebar yang berbeda-beda sesuai pola masker yang dibuat. Profil hasil etsa untuk dua bidang ortogonal (0 1 1) dan (0 1 1) pada substrat InP (100) menggunakan larutan BCK-111 dan Br-methanol telah diperoleh. Plot laju etsa larutan BCK-111 pada substrat InP telah pula diperoleh.

ABSTRACT

SEM EVALUATION OF ETCHING PROCESS OF SOME MICRO STRUCTURE PATTERNS ON InP/ GaInAsP COMPOUND. We describe the SEM evaluation of the etching process of some micro structure patterns on InP/ GaInAsP compound that will be used to develop some GaInAsP/InP LD's structures. The fabrication of the microstructure pattern is conducted using photolithography system type BKJ-50, with stripe masks of width $10\ \mu\text{m} - 1\ \mu\text{m}$ and distance between the stripes $200\ \mu\text{m} - 1\ \mu\text{m}$. The etching solutions are HBr, CH_3COOH , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ and 0.6% Br-Methanol. The photolithography and etching process using HBr+ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 1:1:1$ (BCK-111) solution and 0.6 % Br-methanol, respectively, on InP and GaInAsP/InP results in channels in the form of mesa/groove with different width according to the applied masks. The etch profile of two orthogonal (011) and (0 1 1) planes on (100) InP substrate using BCK-111 and Br-methanol has been obtained. Etch rate curve of BCK-111 on the InP substrate has also been obtained.

1. PENDAHULUAN

Bahan InP/GaInAsP merupakan senyawa semikonduktor yang telah banyak digunakan untuk pengembangan bermacam piranti fotonik seperti LED, laser dioda, dan fotodetektor [1,2]. Daerah kerjanya meliputi daerah panjang gelombang infra merah yaitu sekitar $1 - 1.67\ \mu\text{m}$. Daerah ini merupakan 'jendela telekomunikasi' yang memadukan penggunaan sumber cahaya laser dioda dan fotodetektor; serta serat optik yang mempunyai absorpsi & dispersi minimum pada daerah panjang gelombang tersebut.

Ada bermacam struktur dari laser dioda berbasis GaInAsP/InP yang telah dikembangkan misalnya *buried heterostructure* (BH), *distributed feedback* (DFB), *distributed bragg reflector* (DBR) dan *rib-type* laser [1,2]. Untuk pengembangan berbagai struktur ini, diperlukan beberapa teknik pembuatan pola mikro seperti *electron beam*, X-ray, fotolitografi dan etsa ion, mikroplasma, *RF sputtering*, serta etsa kimia [3,4]. Paduan teknik fotolitografi dan etsa kimia masih cukup banyak

digunakan karena prosesnya mudah dan sederhana walaupun teknik-teknik lain nya telah umum digunakan. Pemilihan bahan etsa dilakukan sesuai dengan bentuk profil yang diinginkan. Sebagai contoh, untuk menghasilkan cermin reflektor bagi laser dikehendaki proses etsa yang menghasilkan profil dinding yang *flat* atau datar, sedangkan untuk membuat struktur mesa pada laser, profil dinding tidak perlu terlalu datar. Berbagai macam proses etsa pada bahan berbasis GaInAsP/InP menggunakan beberapa larutan etsa perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil profil dinding sesuai yang dikehendaki serta parameter waktu etsa yang tepat.

Pada makalah ini diuraikan evaluasi *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari proses etsa bahan InP yang hendak digunakan untuk mengembangkan laser dioda berbasis GaInAsP/InP. Pengamatan yang dilakukan dengan SEM meliputi profil dinding bagian yang teretsa pada dua arah orientasi bidang dari substrat InP (100), serta ketebalan untuk berbagai variasi waktu

etsa. Pembuatan struktur mikro dilakukan dengan alat fotolitografi BKJ-50 menggunakan mask berbentuk stripe lebar antara $10\ \mu\text{m}$ – $1\ \text{mm}$ dengan jarak antar strip $200\ \mu\text{m}$ – $1\ \text{mm}$. Sebagai larutan pengetsa digunakan dua larutan yaitu larutan Brom-methanol karena mudah pembuatannya dan sudah umum digunakan serta larutan ($\text{HBr} + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) karena larutan ini tidak merusak lapisan fotoresist sehingga tidak perlu melapis SiO_2 terlebih dahulu [3,4].

2. TATA KERJA

Secara umum ada berbagai macam tujuan dilakukannya proses etsa terhadap suatu bahan, antara lain adalah untuk melenyapkan kerusakan *abrasive*, mengurangi ketebalan, membersihkan permukaan, serta memunculkan cacat atau bidang-bidang orientasi kristal tertentu (indeks Miller rendah) [5]. Proses etsa terhadap bahan substrat InP atau wafer laser dioda GaInAsP/InP bersifat *preferential* yaitu menghasilkan suatu permukaan-permukaan yang merupakan bidang kristalografi.

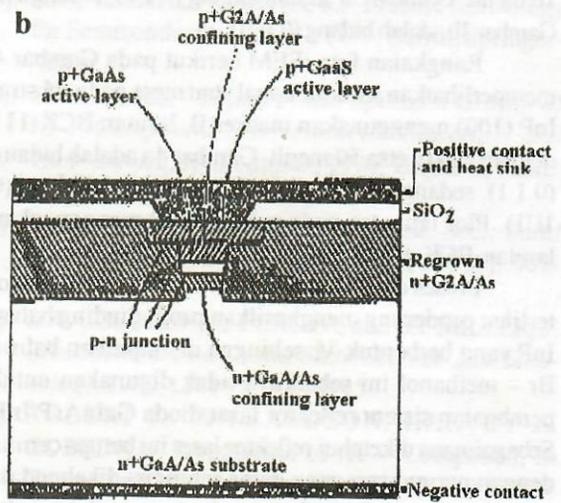
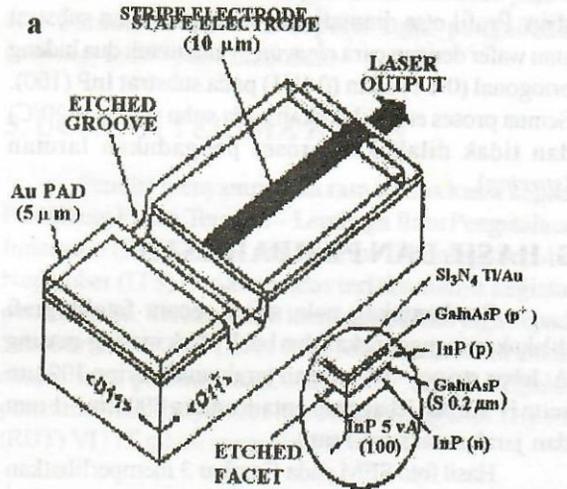
Sebagai gambaran, pada Gambar 1 disajikan dua struktur laser dioda dimana diperlukan proses etsa kimia untuk membuat struktur kanal atau mesa serta cermin refleksinya. [4,5]. Pada struktur laser *stripe* di Gambar 1a, dilakukan serangkaian proses pembuatan pola *stripe* dan proses etsa pada wafer GaInAsP/InP untuk membentuk suatu *groove* serta cermin reflektor laser pada bidang tertentu (0 1 1) atau (0 1 : 1). Untuk laser jenis *buried heterostructure* (Gambar 1b) proses etsa dilakukan untuk membentuk suatu struktur mesa di sekitar lapisan aktif serta kanal pada sistem kontak untuk meningkatkan efisiensi pembentukan laser.

Hasil proses etsa pada bahan substrat maupun wafer umumnya dapat digambarkan secara skematik seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Besarnya sudut θ , R (laju etsa) bergantung pada jenis bahan etsa yang digunakan; sedangkan t merupakan waktu etsa.

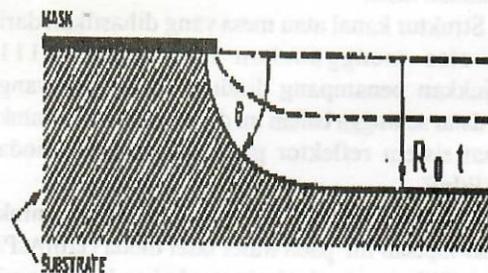
Untuk proses bahan InP digunakan substrat kristal tunggal InP (100) dengan permukaan depan cermin sedangkan permukaan lain dipoles rata. Data proses bahan InP diperlukan pada saat membentuk struktur mesa atau *groove* pada wafer laser dioda GaInAsP/InP. Seperti diketahui, wafer GaInAsP/InP terdiri atas lapisan jamak epitaksi n- InP *clad*, aktif GaInAsP, anti *melback* GaInAsP serta p-InP *clad* [1,2].

Larutan etsa yang digunakan adalah 0.6% Brom-methanol yang merupakan campuran dari Bromida (Br) serta methanol (CH_3OH) serta campuran dari $\text{HBr} + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{IN-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; umum disebut BCK-111. Bahan Br-methanol sudah umum digunakan sebagai pengetsa bahan InP serta GaInAsP/InP; sedangkan BCK-111 diketahui tidak merusak bahan pelapis fotoresist sehingga bahan InP tidak perlu dilapis dengan SiO_2 terlebih dahulu.

Laju etsa diukur dari jarak diantara bagian yang



Gambar 1. Berbagai struktur laser dioda: a). *Stripe* GaInAsP/InP dengan cermin reflektor dari proses etsa, b). *Buried hetero structure* [1,2,3].



Gambar 2. Skematik dari hasil proses etsa pada substrat/wafer [4].

teretsa dan yang tidak teretsa menggunakan mikroskop elektron (SEM) di Laboratorium SEM, P3IB - BATAN. Demikian pula berbagai pola serta profil yang terbentuk melalui proses diamati dengan SEM dan dievaluasi berdasarkan beberapa literatur [3-5]. Pola dibentuk secara proses fotolitografi menggunakan masker berbentuk

stripe dengan berbagai ukuran lebar dan jarak antar strip. Profil etsa diamati dari hasil potongan substrat atau wafer dengan cara *cleaving*, yaitu untuk dua bidang ortogonal (0 1 1) serta (0 1□1) pada substrat InP (100). Semua proses etsa dilakukan pada suhu ruang (~20°C) dan tidak dilakukan proses pengadukan larutan (*stirring*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan pola stripe secara fotolitografi dilakukan menggunakan dua buah mask masing-masing A: lebar stripe ~ 10 μm dan jarak antar stripe 300 μm serta B: variasi lebar strip antara antara 200 μm – 1 mm dan jarak antar strip 1 mm.

Hasil foto SEM pada Gambar 3 memperlihatkan hasil proses etsa pada substrat InP (100) menggunakan masker A, larutan 0.6% Br-methanol dengan waktu etsa 10 menit. Gambar 3a adalah bidang (0 1 1), sedangkan Gambar 3b adalah bidang (0 1□1).

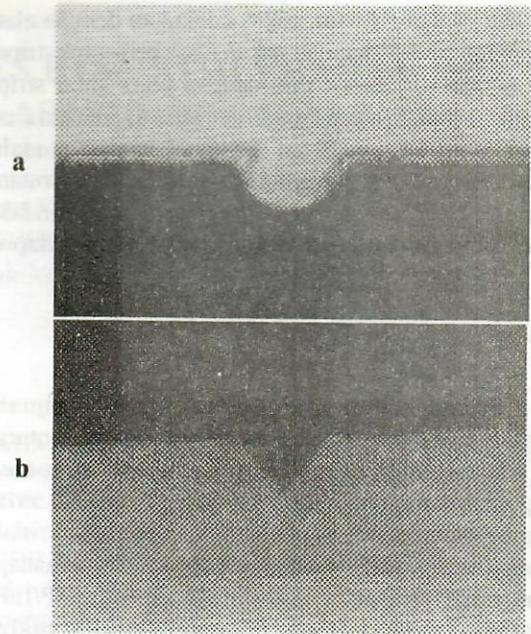
Rangkaian foto SEM berikut pada Gambar 4 memperlihatkan struktur kanal atau mesa pada substrat InP (100) menggunakan masker B, larutan BCK-111 dengan waktu etsa 50 menit. Gambar 4a adalah bidang (0 1 1), sedangkan Gambar 4b dan c adalah bidang (0 1□1). Plot laju etsa pada substrat InP menggunakan larutan BCK (111) disajikan pada Gambar 5.

Proses etsa menggunakan larutan Br-methanol terlihat cenderung menghasilkan profil dinding bahan InP yang berbentuk V; sehingga disimpulkan bahwa Br – methanol ini sebaiknya tidak digunakan untuk pembuatan sistem reflektor laser dioda GaInAsP/InP. Sebagaimana diketahui reflektor laser ini berupa cermin dengan permukaan yang datar sehingga dikehendaki hasil etsa dengan bentuk permukaan yang datar pula. Br – methanol lebih cocok digunakan untuk pembuatan struktur mesa di sekitar lapisan aktif serta kanal pada sistem kontak ohmik untuk meningkatkan efisiensi pembentukan laser.

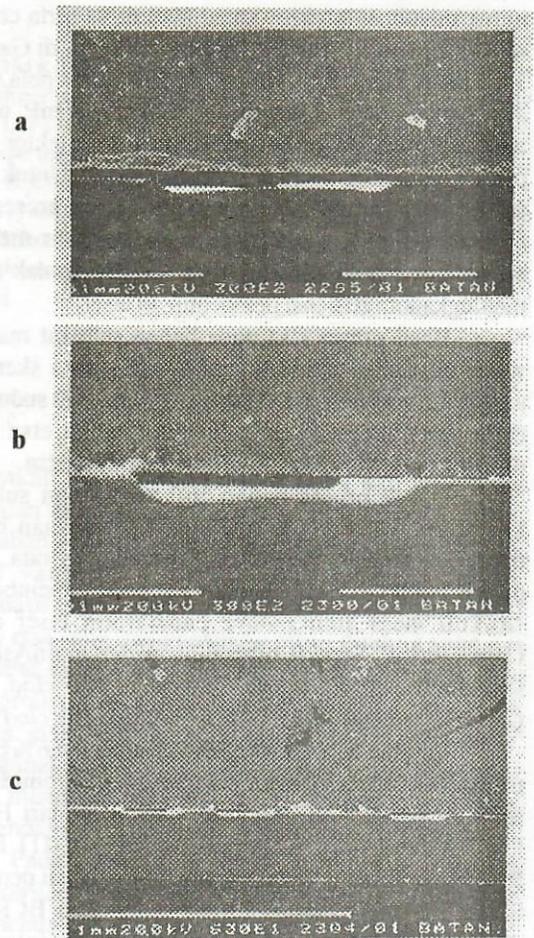
Struktur kanal atau mesa yang dihasilkan dari proses etsa menggunakan larutan BCK-111 menunjukkan penampang dinding bahan InP yang hampir datar sehingga bahan ini dapat digunakan untuk membuat sistem reflektor pada sistem laser dioda GaInAsP/InP.

Seberapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengetsa lapisan InP pada wafer laser dioda GaInAsP/InP dapat dilihat pada plot Laju etsa bahan InP sebagai fungsi waktu menggunakan larutan BCK-111 pada Gambar 5.

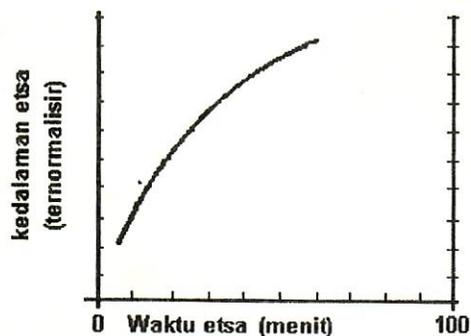
Contoh aplikasi grafik pada Gambar 5 misalnya untuk mengetahui data waktu etsa bahan InP dalam pembuatan sistem cermin reflektor pada laser dioda GaInAsP/InP (Gambar 1a) atau pada laser dioda jenis *burried hetero structure* (Gambar 1b); yaitu waktu etsa untuk menghilangkan lapisan InP setelah dilakukan proses disain dari parameter-parameter lain untuk laser



Gambar 3. Gambar SEM dari struktur mesa pada InP (100) dengan Br-methanol: a) bidang (0 1 1) dan b) bidang (0 1□1).



Gambar 4. Gambar SEM dari struktur mesa pada InP (100) dengan BCK-111: (a) . bidang (0 1 1), (b) dan (c). bidang (0 1□1)



Gambar 5. Plot laju etsa pada substrat InP menggunakan larutan BCK (111).

dioda tersebut [1,2,3].

Untuk pembentukan sistem laser dioda GaInAsP/InP tersebut, masih diperlukan eksperimen proses etsa lebih lanjut misalnya untuk mendapatkan data laju etsa bahan GaInAsP sebagai fungsi waktu atau perubahan laju etsa jika dilakukan variasi suhu; juga bila dilakukan proses pengadukan (*stirring*) untuk mempercepat proses etsa. Penggunaan bahan-bahan etsa lain juga perlu dicoba untuk mendapatkan hasil etsa sesuai yang dikehendaki.

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan pengamatan dan evaluasi menggunakan SEM dari proses etsa bahan InP yang hendak digunakan untuk mengembangkan laser dioda GaInAsP/InP.

Berbagai profil dinding yang terbentuk pada substrat InP (100) di etsa menggunakan larutan Br-methanol dan BCK-111 telah diperoleh. Proses etsa menggunakan larutan Br-methanol cenderung menghasilkan profil dinding bahan InP berbentuk V; sehingga disimpulkan bahwa Br-methanol ini sebaiknya tidak digunakan untuk pembuatan sistem reflektor laser dioda GaInAsP/InP. Reflektor laser dioda berupa cermin dan menghendaki hasil etsa dengan bentuk permukaan yang *flat* atau datar. Br-methanol lebih cocok digunakan untuk pembuatan struktur mesa di sekitar lapisan aktif serta kanal pada sistem kontak laser untuk meningkatkan efisiensi pembentukan laser.

Struktur kanal atau mesa yang dihasilkan dari proses etsa menggunakan larutan BCK-111 menunjukkan penampang dinding bahan InP yang hampir datar sehingga larutan ini dapat digunakan untuk membuat sistem reflektor pada sistem laser dioda GaInAsP/InP.

Plot laju etsa bahan InP sebagai fungsi waktu menggunakan larutan BCK-111 telah pula diperoleh. Seberapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengetsa lapisan InP dalam pembuatan cermin reflektor ataupun struktur mesa untuk kontak ohmik pada sistem laser GaInAsP/InP dapat dilihat dari grafik laju etsa tersebut.

Eksperimen proses etsa lanjutan menggunakan

bahan/larutan lain serta dengan menambahkan parameter-parameter tertentu seperti suhu pengadukan (*stirring*) masih perlu dilakukan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Puslitbang Fisika Terapan – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P3FT-LIPI) dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya atas terlaksananya kegiatan penelitian ini. Terima kasih kami sampaikan juga kepada Sdr. Suryadi (P3FT-LIPI) yang telah membantu dalam eksperimen penumbuhan wafer laser dioda. Kegiatan penelitian ini dibiayai dari dana Riset Unggulan Terpadu (RUT) VI ITS tahun anggaran 1998/1999.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IGA, K. and KINOSHITA, S., "Process Technology for Semiconductor Lasers", 1996, Berlin, Springer-Verlag
- [2]. M.G. ASTLES, "Liquid Phase Epitaxial Growth of III-V Compound Semiconductor Materials and Their Device Applications", 1990, England, Adam Hilger-IOP Publishing Ltd..
- [3]. SADA O ADACHI, *J. Electrochem. Soc.: Solid State Science and Technology*, 1982, **130** (9), 609-613.
- [4]. L.A. COLDREN, K. FURUYA, and B.I. MILLER, *J. Electrochem. Soc.: Solid State Science and Technology*, 1983, **130** (9), 1918-1925.
- [5]. ROBERT K. WILLARDSON, HARVEY L. GOERING, "Preparation of III-V Compound, in Compound Semiconductors", 445-468, 1985, New York, Reinhold Publishing Corp.