

# PROSES FABRIKASI UNTAI TERINTEGRASI BERBASIS BAHAN SEMIKONDUKTOR GALLIUM ARSENIDE ( GaAs )

Andreas Ardian Febrianto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – UKSW  
Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711  
Email : [andreas\\_ardian@yahoo.com](mailto:andreas_ardian@yahoo.com)

## Intisari

Bahan semikonduktor Silikon (Si) telah digunakan secara luas dalam pembuatan komponen elektronika termasuk untai terintegrasi. Kelemahan untai terintegrasi dari bahan Si adalah tidak dapat digunakan pada untai logika terapan yang mengolah masukan dengan kecepatan sangat tinggi. Masalah ini diatasi dengan menggunakan Gallium Arsenide (GaAs) sebagai bahan alternatif untai terintegrasi menggantikan Si.

**Kata kunci :** Untai terintegrasi, Silikon, Gallium Arsenide

## 1. Pendahuluan

Bahan semikonduktor silikon (Si) digunakan secara luas dalam pembuatan komponen elektronika, termasuk untai terintegrasi (*Integrated Circuit (IC)*). Untai terintegrasi yang dihasilkan dari bahan silikon mempunyai kelemahan, yaitu tidak dapat digunakan dalam untai logika terapan yang membutuhkan pengolahan masukan dengan kecepatan yang tinggi (frekuensi *clock* dalam jangkauan 500 MHz - 10 GHz). Permasalahan ini diatasi dengan menggunakan bahan Gallium Arsenide (GaAs) sebagai bahan alternatif bagi untai terintegrasi untuk menggantikan silikon. Untai terintegrasi yang dihasilkan dengan bahan GaAs mempunyai kecepatan kinerja sepuluh kali lebih tinggi dibandingkan dengan untai terintegrasi dari bahan silikon untuk konsumsi daya yang sama.

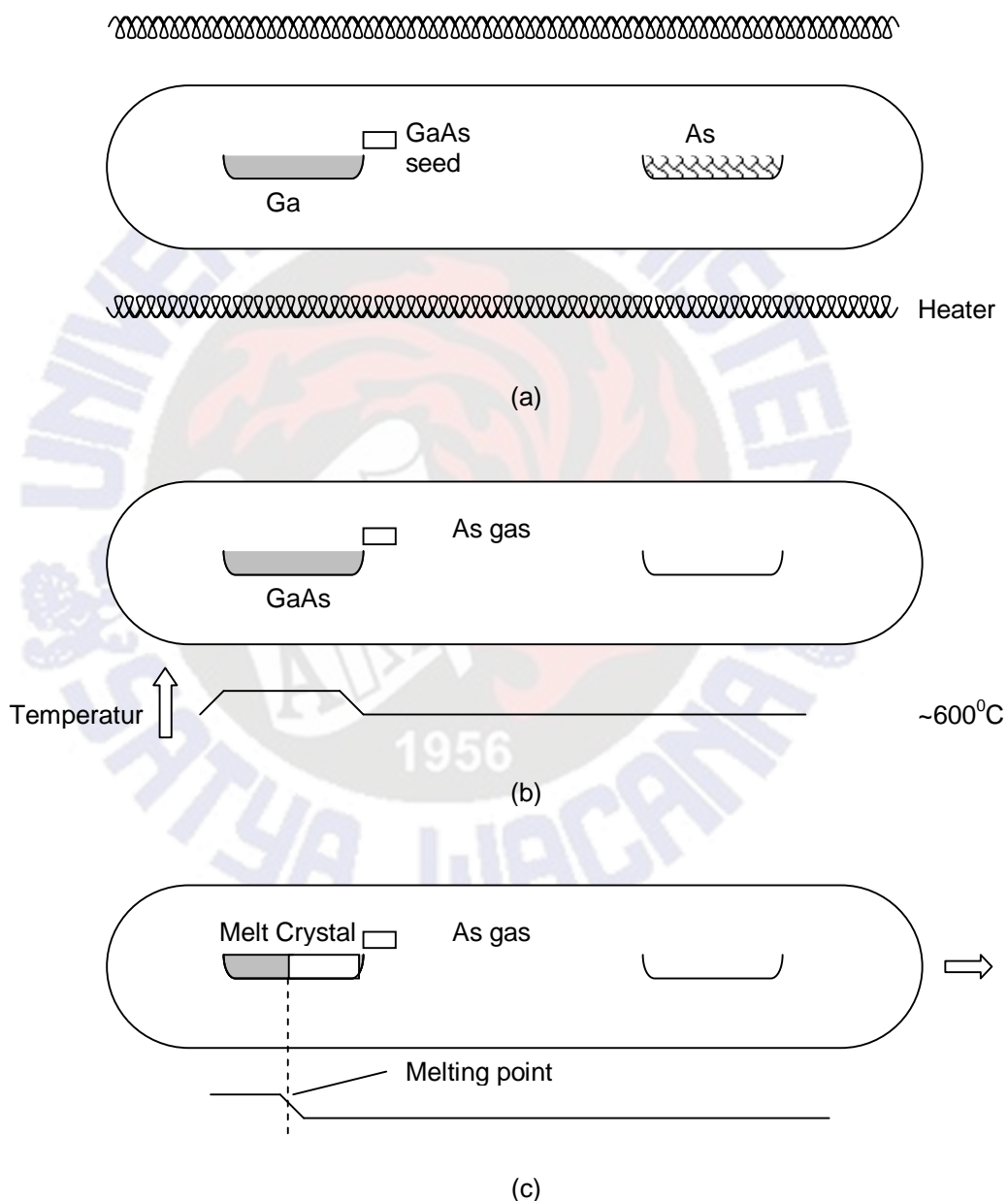
## 2. Proses Fabrikasi Untai Terintegrasi Berbahan GaAs

### 2.1. Penumbuhan Kristal (*Crystal Growth*)

Langkah pertama dalam pembuatan untai terintegrasi GaAs adalah menyiapkan *wafer-wafer* GaAs. Proses pembuatan untai terintegrasi memerlukan pertumbuhan sejumlah besar kristal yang dapat dipotong-potong menjadi *wafer-wafer*. Pertumbuhan kristal GaAs dirumitkan oleh kenyataan bahwa terjadi penguraian (*dissociation*) gas arsen dalam jumlah yang berarti selama peningkatan temperatur ( $300^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$ , bahkan pada temperatur di bawahnya). Cara yang dipakai untuk menekan jumlah gas arsen yang hilang dari kristal adalah dengan teknik *Horizontal Bridgeman (HB)*.

Inti teknik ini adalah menekan tingkat kehilangan Arsen dari kristal dengan memulai pertumbuhan kristal dalam atmosfer Arsen. Proses penumbuhan dapat dibagi dalam tiga tahapan. Pada tahap pertama, Gallium dan Arsen ditutup rapat-rapat dalam sebuah tungku kuarsa kosong yang diletakkan dalam sebuah pemanas terkendali. Tahap kedua, dilakukan dengan menaikkan temperatur dalam tungku

tersebut sehingga temperatur sumber Arsen (*arsen source*) dan benih kristal GaAs ada di bawah titik leleh GaAs dan temperatur “kapal” Gallium ada di atas titik leleh GaAs. Arsen yang bersifat mudah menguap menyebabkan tungku menjadi dipenuhi oleh gas Arsen pada temperatur yang tinggi ini. Reaksi antara Gallium dan gas Arsen terjadi dalam sebuah atmosfer Arsen untuk menghasilkan lelehan GaAs. Tahapan terakhir adalah penumbuhan kristal GaAs yang dicapai dengan menarik keluar tungku secara perlahan-lahan dari pemanas. Kristalisasi akan terjadi saat temperatur lelehan diturunkan di bawah titik leleh.



Gambar 1. Pertumbuhan GaAs dengan Teknik *Horizontal Bridgman* :  
 (a) *Vacuum Sealing*; (b) Sintesis; (c) Pertumbuhan Kristal.

## 2.2. Penanaman Ion

Penanaman ion digunakan untuk menempatkan impuritas yang diinginkan ke dalam *wafer*. Impuritas atau *dopant* ini digunakan untuk mengubah karakteristik kelistrikan *wafer* sesuai dengan yang diinginkan. Proses penanaman ion dilakukan dengan menembakkan *dopant* ke dalam *wafer*. *Dopant* (pengotor) yang digunakan umumnya adalah Be (Berilium) atau Zn (Seng) untuk bahan-bahan tipe-p dan Si atau Ge (Germanium) untuk bahan tipe-n.

## 2.3. Photolithography

*Photolithography* adalah proses selektif yang secara aktual memungkinkan pembuatan pola untai-untai yang diinginkan pada *wafer*. Proses ini diawali dengan menerapkan proses *photoresist* pada *wafer*. Langkah selanjutnya adalah menyiapkan masker (*mask*). Masker adalah selembar metal yang dilukisi pola aktual yang akan dietsa ke dalam *photoresist*. Masker dipotong sedemikian rupa sehingga jika sinar ultra ungu pada bagian yang diekspos dari *photoresist* akan menjadi pola yang aktual. Ada dua jenis proses dalam *photolithography* yaitu proses *lift-off* dan proses etsa (*etch*) seperti yang terlihat pada Gambar 2. Tahap-tahap proses *lift-off* adalah sebagai berikut.

1. Mengendapkan lapisan *photoresist* di atas landasan.
  2. Mendefinisikan *features* pada lapisan *photoresist*.
  3. Mengendapkan logam.
  4. Melakukan *lift-off* dengan mengangkat lapisan *photoresist* dari landasan.
- Sedangkan tahap-tahap proses etsa adalah sebagai berikut.

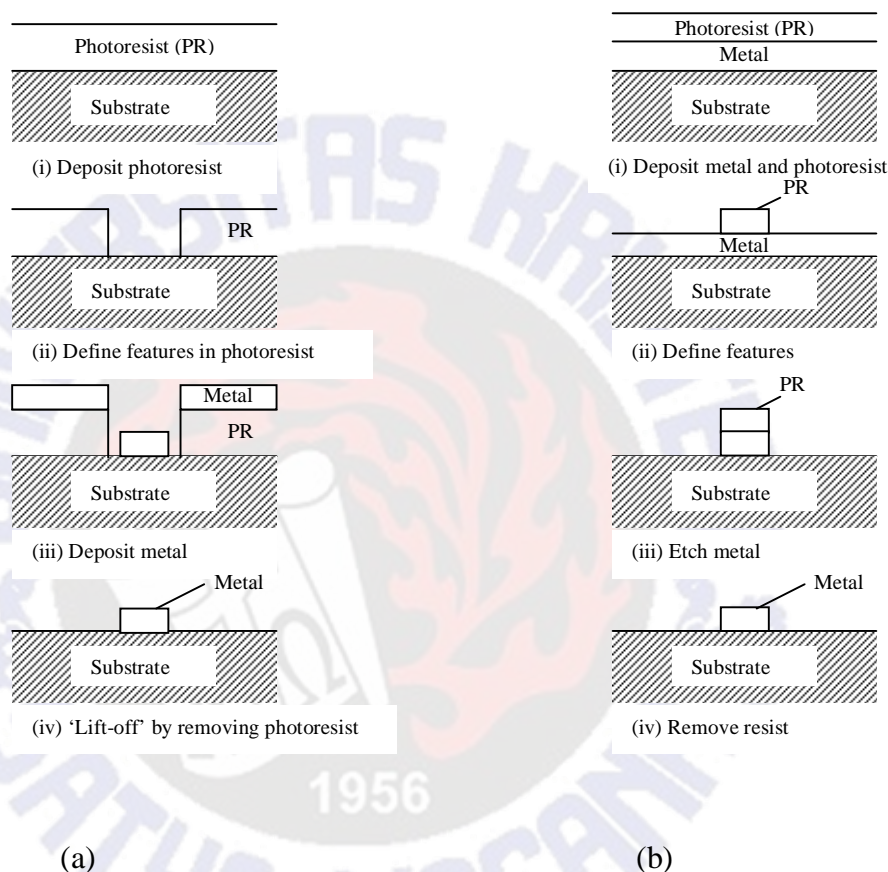
1. Mengendapkan lapisan logam dan lapisan *photoresist* di atas landasan.
2. Mendefinisikan *features* pada lapisan *photoresist*.
3. Mengetsa lapisan logam.
4. Mengangkat lapisan *photoresist* dari landasan.

## 2.4. Isolasi Peranti

Isolasi peranti-peranti yang digunakan pada untai terintegrasi dengan GaAs pada awalnya menggunakan *mesa-structure*. Pada struktur ini isolasi antara peranti-peranti dilakukan dengan proses etsa yang meninggalkan luasan-luasan pengotoran pada peranti di bagian atas landasan *semi-insulating* seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (a). Struktur semacam ini menghasilkan isolasi yang baik pada proses fabrikasi untai terintegrasi yang planar. Pada fabrikasi untai terintegrasi yang tidak planar dan menggunakan jalur-jalur (*tracks*) interkoneksi, struktur isolasi semacam ini tidak dapat berfungsi dengan baik.

Teknik isolasi yang lain adalah isolasi antara peranti pada untai terintegrasi dengan penanaman proton, boron atau oksigen secara selektif pada *wafer*. Teknik ini digunakan jika lapisan terkotori dihasilkan dengan cara penanaman ion dengan dosis tertentu secara merata pada seluruh *wafer*. Kerusakan yang ditimbulkan oleh proses penanaman akan mengubah daerah tertanam (*implanted region*) tipe-n menjadi bahan *semi-insulating*. Pada proses ini sebuah lapisan *photoresist* yang tebal pada bagian atas luasan-luasan peranti berlaku sebagai masker terproteksi seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (b).

Cara alternatif isolasi peranti adalah dengan mengganti proses penanaman bahan tipe-n secara global yang diikuti penanaman isolasi yang selektif menjadi hanya penanaman bahan tipe-n yang selektif. Bahan diantara peranti-peranti ditutupi sehingga bahan tersebut menyisakan lapisan *semi-insulating* setelah penanaman lapisan yang menghantar dan secara otomatis menyediakan lapisan isolasi seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (c).



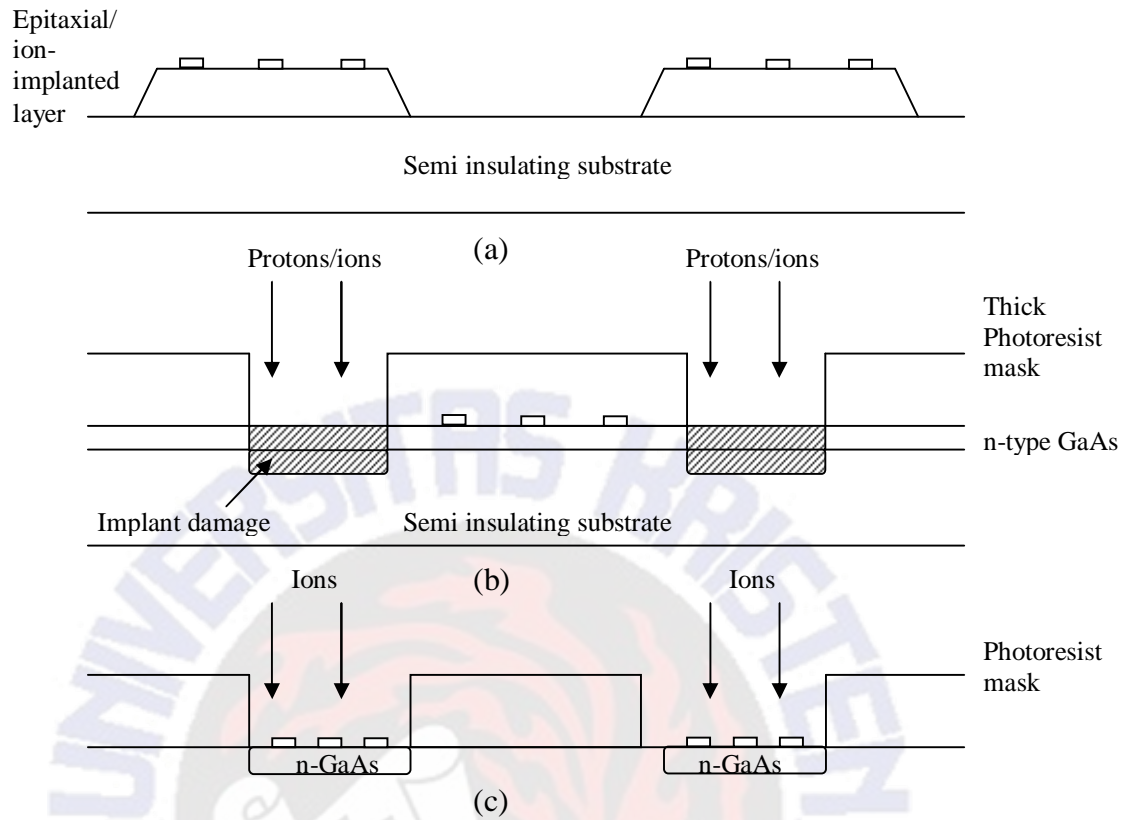
Gambar 2. Proses *Photolithography* untuk Metalisasi:  
(a) Proses *lift-off*; (b) Proses Etsa.

## 2.5. Annealing

Proses penanaman ion akan menimbulkan kerusakan yang cukup berat sehingga perlu untuk dilakukan proses pemanasan tambahan. Pada tahap ini *wafer* dipanaskan sedemikian rupa sehingga struktur kisi kristal *wafer* yang rusak bisa memperbaiki dirinya sendiri. Pemanasan akan mengaktifkan ion-ion *dopant* secara elektrik.

Metode *annealing* bagi proses penanaman pada GaAs adalah metode *Capped Annealing*. Pada metode ini, *wafer* ditutup dengan sebuah lapisan yang dapat menahan temperatur *anneal* yang tinggi. Lapisan ini mencegah hilangnya Arsen dari permukaan GaAs. Pada umumnya yang digunakan adalah Silikon Nitrida.





**Gambar 3. Isolasi Peranti:**  
**(a) Struktur-struktur Mesa; (b) Penanaman Ion; (c) Penanaman Selektif .**

## 2.6. Kontak-kontak dan Interkoneksi

Kontak-kontak pada untai terintegrasi GaAs adalah kontak ohmik dan kontak *schottky*. Kontak ohmik pada GaAs secara tipikal dibuat dari kombinasi logam emas-germanium-nikel yang dicampur pada *wafer* dengan temperatur kurang lebih  $450^{\circ}\text{C}$ . Kontak *schottky* secara tipikal dibuat dari kombinasi titan-platina-emas atau dari kombinasi titan-wolfram-emas. Lapisan titan pada sistem ini menyediakan kontak *schottky* dengan hambatan tinggi yang baik.

Interkoneksi peranti-peranti pada untai terintegrasi GaAs umumnya membutuhkan paling sedikit dua aras metalisasi yang memungkinkan *cross-over-cross-over*. Isolasi secara elektrik antara dua jalur penting dilakukan. Hal tersebut dilakukan dengan penggunaan sebuah lapisan dielektrik terhalangi (*intervening dielectric layer*). Lubang-lubang via dietsa melalui dielektrik ini pada lokasi-lokasi yang benar saat hubungan-hubungan antara dua lapisan metalisasi dibutuhkan. Aras metalisasi kedua (bagian atas) umumnya menggunakan titan-emas. Tebal lapisan kedua ini secara tipikal adalah  $0,7 - 1,0 \mu\text{m}$  dan lebih tebal daripada lapisan pertama (bagian bawah) karena lapisan kedua ini digunakan sebagai jalur-jalur daya. Tebal lapisan pertama secara tipikal adalah  $0,3 - 0,5 \mu\text{m}$ .

## 2.7. Pasivasi

Pasivasi adalah proses yang dilakukan untuk mengendapkan nitrida pada *wafer* untuk melindungi *wafer*. Untai terintegrasi GaAs membutuhkan beberapa lapisan untuk melindungi permukaannya dari etsa yang mungkin terjadi atau dari pengaruh uap air dari lingkungan sekitar. Lapisan ini harus diisolasi untuk mempertahankan isolasi peranti.

Jenis lapisan pasivasi/dielektrik yang umumnya digunakan adalah silikon nitrida. Silikon nitrida digunakan saat dibutuhkan lapisan dielektrik tinggi. Proses pengendapan dilakukan dengan *Plasma-Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD)*. Proses pengendapan adalah proses mengendapkan suatu lapisan tipis film ke permukaan *wafer*. Pada *PECVD* direaksikan ammonia dan *silane* ( $\text{SH}_4$ ) ke dalam plasma terinduksi frekuensi radio pada temperatur  $300^\circ\text{C}$ .

## 3. Kesimpulan

Untai terintegrasi berbahan silikon tidak dapat digunakan dalam untai logika terapan yang membutuhkan pengolahan masukan dengan kecepatan yang tinggi (frekuensi *clock* dalam jangkauan 500 MHz - 10 GHz). Permasalahan ini diatasi dengan menggunakan bahan Gallium Arsenide (GaAs) sebagai bahan bagi untai terintegrasi. Untai terintegrasi berbahan GaAs mempunyai kecepatan kinerja sepuluh kali lebih tinggi dibandingkan dengan untai terintegrasi berbahan silikon untuk konsumsi daya yang sama.

## 4. Daftar Pustaka

- [1] Harrold, S.J., "An Introduction to GaAs IC Design" , Prentice Hall International, New York, 1993.
- [2] Long, Stephen I, "GaAs Digital IC Design", Mc Graw Hill Book Company, Singapore, 1990.
- [3] Soares, Robert, ed, "GaAs MESFET Circuit Design", Artech House Inc, Boston and London, 1988.

## Riwayat penulis

### Andreas Ardian Febrianto

Memperoleh gelar sarjana S1 dari Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga pada tahun 1999 dan gelar magister dari Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada tahun 2002. Sejak tahun 2002 sampai sekarang bekerja sebagai dosen di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.