

Karakterisasi Fisis Thin Film Bahan Binary Gallium Antimoni (Gasb) Dengan Sistem Penumbuhan Evaporasi

D.A. Setyabudi¹⁾, H Soepardjo²⁾

1. Program Studi Magister Fisika, Program Pascasarjana Universitas Indonesia
2. Jurusan Fisika Fakultas Matematika Ilmu dan Pengatahuan Alam - Universitas Indonesia

D.A. Setyabudi dan H. Soepardjo, Karakterisasi Fisis Thin Film Bahan Binary Gallium Antimoni (GASB) dengan Sistem Penumbuhan Evaporasi, Jurnal Ilmu dan Rekayasa Material. Agustus 1999; 1(2) : 63-69

Abstrak

Penelitian ini bertujuan memperoleh informasi karakteristik thin film GaSb dengan sistem penumbuhan evaporasi thermal. Bahan yang digunakan adalah ingot GaSb dengan sistem penumbuhan pemanasan vertikal pada bagian ujungnya. Penumbuhan thin film GaSb secara evaporasi thermal menggunakan evaporator Univex 450 pada Laboratorium Fisika Universitas Indonesia. Karakterisasi thin film GaSb menggunakan difraksi sinar-X (difraktometer Cu-K α dan Co-K α) dan four point probe (Veeco EPP-100) dilakukan pada Laboratorium Fisika Universitas Indonesia dan Lembaga Sumber Daya dan Energi, pada bulan Agustus 1996 - Maret 1997. Hasil analisis thin film GaSb substrat kronig pada temperatur pemanasan substrat 200 °C menunjukkan karakteristik yang sama dengan referensi dengan konstanta kisi (a) 6,24 Å, volume 197,79 Å³, sistem kristal kubik dengan struktur kubik pusat muka pada orientasi bidang (111, 220, 333).

Abstract

This research is intended to obtain information regarding characteristic of GaSb thin film from thermally evaporated growth system. The material use consist of GaSb ingot growth vertically by thermally evaporated. The evaporator used is univex 450, and the characterization is carried out using X-ray diffractometer and veeco four points probe. The thin film analysis indicated that GaSb at temperature of 200°C have similar characteristics with the reference, having lattice constant of 6.24 Å and volume 197.79 Å³ and have a structure of FCC oriented at (111), (220) and (333) crystal planes.

Pendahuluan

Gabungan Gallium *Ga* dengan antimoni *Sb* membentuk bahan binary Gallium antimoni *GaSb* dengan sistem kristal kubik yang mempunyai tipe

struktur *zinc blende* (ZnS). Konstanta kisi (a) GaSb 6,118 Å dengan kerapatan (ρ) 5,614 g/cm³. Gallium antimoni merupakan bahan yang cukup menarik sebagai bahan binary, ternary ataupun quaternary dengan pita gab yang berhubungan dengan

panjang gelombang 1,3 sampai 1,5 μm (J.P.Garandet *et al.*, 1989). Gallium antimoni diperkirakan mempunyai perbedaan mobilitas elektron (μ) yang tinggi dibandingkan dengan Gallium arsenide (GaAs). Secara khusus GaSb merupakan sistem yang cukup menarik karena kisinya mirip dengan bahan Indium arsenide antimoni (InAsSb). Gallium antimoni (GaSb) dapat digunakan sebagai divais pada gelombang mikro sampai dengan panjang gelombang 10 μm .

Telah banyak penelitian secara sukses menumbuhkan ingot GaSb dengan metode Czochralski, begitu juga telah banyak penelitian secara sukses menumbuhkan thin film dengan molekural beam epitaksi (MBE). Garandet, J.P., *et al.*, 1989 menumbuhkan kristal GaSb dari bahan Gallium (Ga) dan Antimoni (Sb) dengan tingkat kemurnian masing-masing 6N. Penumbuhan dilakukan secara vertikal gradient beku (*vertikal Gradient Freeze Growth*) berhasil menumbuhkan polikristal pada crucible (sumber) silica menggunakan tungku berputar pada temperatur 1100 °K selama 15 jam. Penumbuhan sistem molekural-beam epitaksi (MBE) dilakukan M.Lee *et al.*, 1985 berhasil menumbuhkan kristal GaSb, dengan substrat Gallium arsen (GaAs) atau GaSb sebagai epi-lapisan. Pemanasan substrat GaAs dilakukan pada 640 °C dengan flux arsen dibuat sedemikian sehingga permukaan secara normal bersih. Pemanasan substrat GaSb pada 590 °C dengan flux antimoni (Sb) dengan perbandingan penumbuhan (1 : 3) selama penumbuhan. Frass, L.M., *et al.*, 1986 berhasil menumbuhkan film GaSb secara epitaksi kimia vakum dengan menggunakan triethyl antimoni (TESb) dan triethyl Gallium (TEGa). H. Luquet *et al.*, 1986 melakukan penumbuhan Gallium aluminium antimoni (GaAlSb) dengan metode epitaksi phase-cair pada substrat GaSb. Penumbuhan thin film dengan cara evaporasi pada komponen Cupri gallium

selenide (CuGaSe_2) dilakukan Diaz, R., *et al.*, dari bubuk ingots dengan tingkat kemurnian unsur 99,999% yang dikeluarkan dari ampoule quarts.

Temperatur pemanasan substrat dalam penumbuhan thin film secara evaporasi merupakan faktor yang cukup menentukan sifat fisis thin film. Sehingga pemilihan temperatur pemanasan substrat perlu dilakukan. Penelitian ini merupakan tahapan awal dari serangkaian penelitian thin film guna menuju bahan semikonduktor ataupun bahan sel surya yang handal. Dengan demikian hasil penelitian ini sebagai bahan pijakan guna penelitian yang lebih mendalam, dengan tujuan mengetahui sifat fisis thin film GaSb. Temperatur pemanasan substrat dibagi dalam dua range (150°C dan 200°C). Substrat dalam tiap masker terdiri dari tujuh kaca dan dua kronig. Evaporasi bahan thin film GaSb menggunakan evaporator Univex 450 yang dapat diprogram ketebalan dan lama evaporasinya.

Hasil evaporasi dalam tiap masker dianggap homogen yang selanjutnya dikarakterisasikan sifat fisisnya, karakterisasi fisis thin film meliputi difraksi sinar-X menggunakan difraktometer (Cu-K α dan Co-K α) dan four point probe menggunakan Veeco Instruments Incorporated model EPP-100.

Bahan dan Cara Kerja

Penumbuhan thin film GaSb dilakukan secara evaporasi thermal menggunakan evaporator Univex 450, pada Laboratorium Fisika Universitas Indonesia. Karakterisasi fisis hasil penumbuhan thin film GaSb dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Indonesia dan Lembaga Sumber Daya dan Energi (LSDE), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong, Jawa Barat. Pelaksanaan penelitian

dilakukan pada bulan Agustus 1996 sampai dengan Maret 1997.

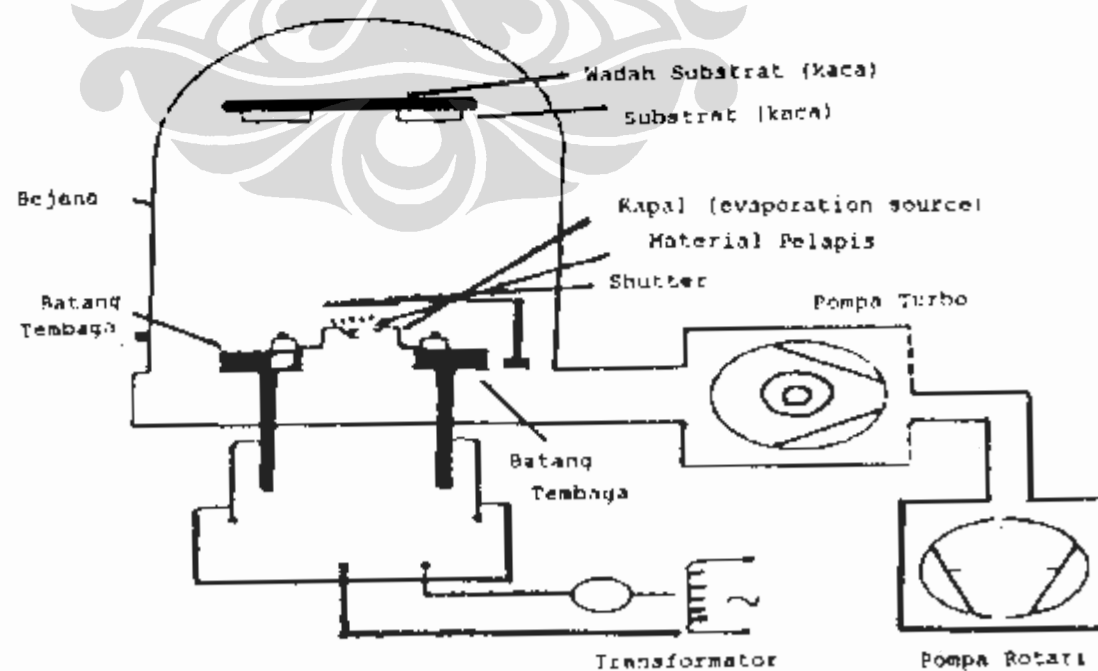
Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah ingot GaSb pada bagian ujungnya. Ingot GaSb diperoleh dari penelitian sebelumnya atas kerjasama penelitian Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Lembaga Sumber Daya dan Energi, Serpong, Jawa Barat dengan Universitas Indonesia. Ingot GaSb ditumbuhkan dengan metode teknik penumbuhan panas (*melt growth technique*) dengan karakteristik fisis tertentu. Bagian ujung ingot GaSb dilakukan penghalusan sampai halus menggunakan mortar. Selanjutnya serbuk ingot GaSb halus berukuran tertentu dicuci dengan aseton dan air bebas ion (*deionization water*) pada vibrasi ultra sonik (*ultra-sonic vibration*). Kemudian serbuk ingot GaSb dikeringkan menggunakan *spray drier*.

Substrat yang digunakan dalam penumbuhan thin film GaSb adalah kaca dan kronig yang telah dicuci dengan aseton dan air bebas ion pada vibrasi ultra sonik, kemudian dikeringkan menggunakan *spray drier*. Substrat disusun pada masker evaporator Univerx 450 dengan posisi sedemikian rupa dan ditandai dengan kode tertentu. Masker berisi substrat diatur pada tiang penyangga agar saat evaporasi berada tepat pada crucible (sumber) bahan GaSb.

Metode Penumbuhan Thin Film GaSb

Penumbuhan thin film GaSb dilakukan secara evaporasi thermal menggunakan evaporator univex 450 pada Laboratorium Fisika Universitas Indonesia Gambar 1. Crucible (sumber) yang digunakan molybdenum dengan tinggi 15 cm terhadap substrat. Tekanan saat evaporasi 150°C adalah $5,76 \times 10^{-6}$ mBar, sedangkan pada 200°C $3,39 \times 10^{-6}$ mBar.



Gambar 1. Bagan penumbuhan thin film sistem evaporasi thermal

Metode Karakterisasi

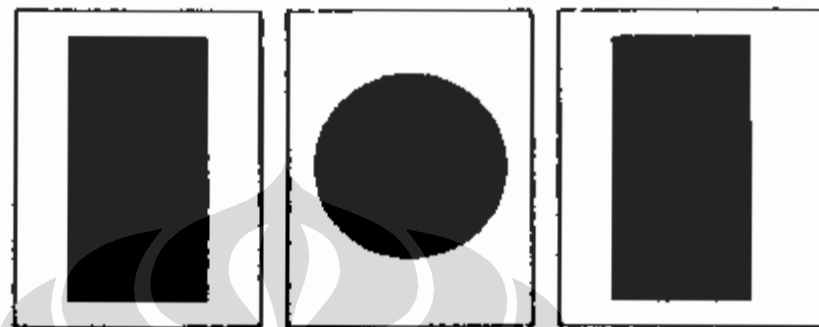
Thin film GaSb hasil penumbuhan, selanjutnya dikarakterisasikan menggunakan sinar-X difraktometer (Cu-K α dan Co-K α). Data analisis difraksi sinar-X

berupa sudut-sudut theta (biasanya 2θ), kemudian melalui perhitungan menggunakan persamaan Bragg ditentukan konstanta kisi (a), volume (V), indeks miller (hkl) dan struktur kristalnya.

Salah satu sifat kelistrikan yang penting adalah resistivitas (ρ). Karakterisasi resistivitas thin film GaSb menggunakan alat Veeco model EPP-100. Analisis four point probe menggunakan Veeco Instrument model EPP-100 diperoleh besaran resistivitas (ρ), dan tipe thin film GaSb.

Hasil dan Pembahasan

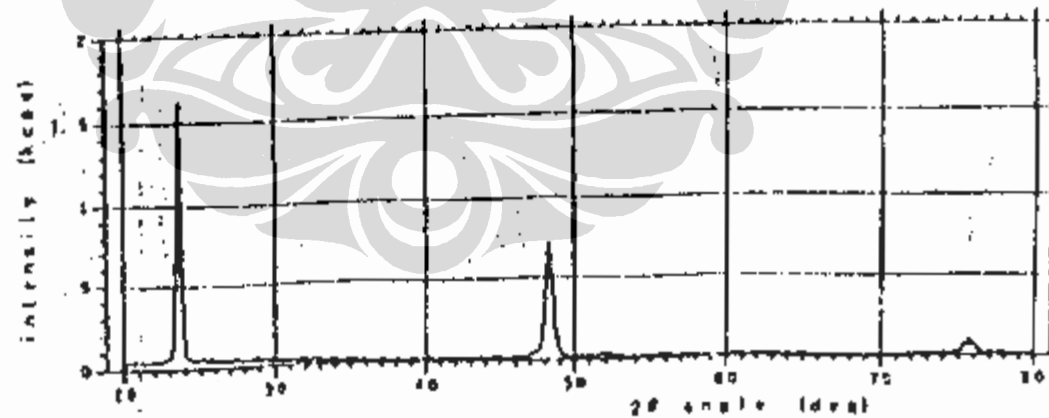
Hasil penumbuhan thin film GaSb berupa deposit GaSb pada substrat kaca dan kronig dengan bentuk persegi panjang (17 x 11) mm dan lingkaran (diameter 11 mm) Gambar 2.



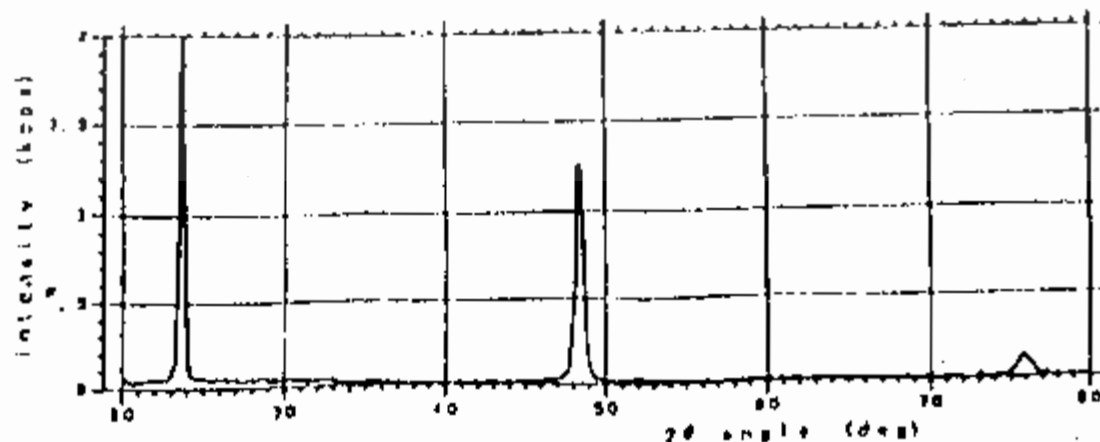
Gambar 2. Hasil penumbuhan thin film GaSb

Hasil analisis difraksi sinar-X berupa data tabel dan *peak - peak* yang menunjukkan

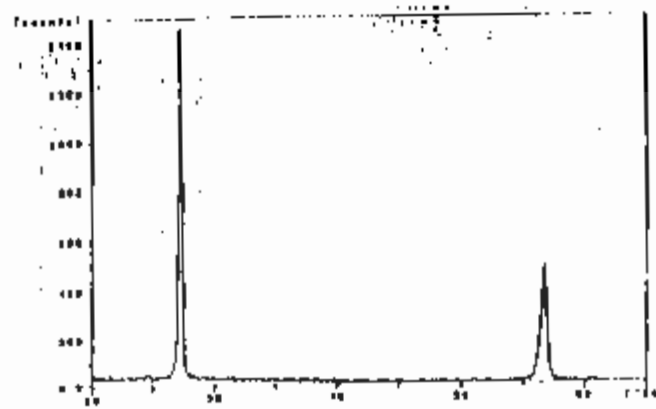
orientasi bidang thin film GaSb.



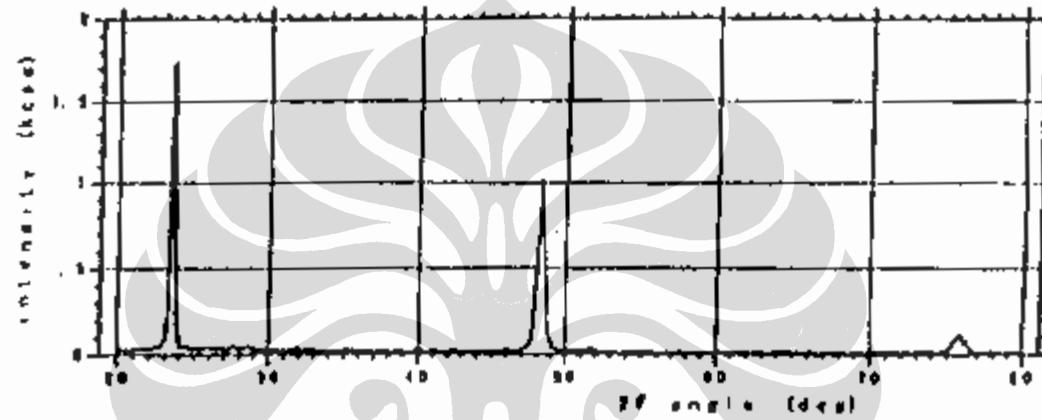
Gambar 3. Hasil difraksi sinar-X sample 2KA.150



Gambar 4. Hasil difraksi sinar-X sample 2KA.200



Gambar 5. Hasil difraksi sinar-X sample 5KR.150



Gambar 6. Hasil difraksi sinar-X sample 6KR.200

Tabel 1. Hasil analisis difraksi sinar-X thin film GaSb

Kode	a (Å)	V (Å) ³	Sistem Kristal	Indeks miller
1KA.150	6,53	206,04	FCC	(111, 222, 333)
2KA.150	6,52	206,10	FCC	(111, 200, 222)
3KA.150	6,58	210,81	FCC	(111, 111, 222, 222)
4KA.150	6,57	209,85	FCC	(111, 222)
2KA.200	6,53	206,04	FCC	(111, 222)
3KA.200	6,53	206,04	FCC	(111, 222)
4KA.200	6,52	205,10	FCC	(111, 200, 222)
7KA.200	6,52	205,10	FCC	(111, 222, 333)
5KR.150	6,56	208,90	FCC	(111, 222, 333)
6KR.200	6,24	179,79	FCC	(111, 220, 333)

Keterangan : a - Konstanta kisi atau para meter kisi.
 V - Volume kristal sistem kubus.
 FCC - *Face centered cubic*, kubik pusat muka.

Pada Tabel 1 nampak bahwa konstanta kisi (a) thin film GaSb hasil penumbuhan dengan temperatur pemanasan substrat 150°C berkisar 6,52-

6,58 Å. Sedangkan konstanta kisi GaSb dari referensi 6,118 Å. Ketidaktepatan ini menunjukkan bahwa thin film GaSb sebagai semikonduktor belum seperti yang

diharapkan. Ketidaktepatan konstanta kisi ini mungkin disebabkan adanya cacat kristal. Proses penumbuhan thin film secara evaporasi memungkinkan terjadinya cacat, hal ini diakibatkan adanya perubahan suhu. Cacat yang terjadi berupa cacat titik atau cacat dislokasi pada struktur kristal. Adanya cacat pada kristal menyebabkan susunan kristal tidaklah sempurna dan berpengaruh terhadap konstanta kisi (a). Pada Tabel 1 nampak bahwa konstanta kisi (a) thin film GaSb hasil penumbuhan dengan temperatur pemanasan substrat 200°C berkisar $6,52\text{-}6,53 \text{ \AA}$. Volume thin film GaSb $205,10\text{-}206,04 \text{ \AA}^3$. Besaran-besaran ini nampak bila dibandingkan dengan referensi belumlah sesuai. Ketidaktepatan ini mungkin disebabkan selama proses evaporasi belumlah dicapai tingkat kevakuman yang cukup (10^{-7} mBar). Tingkat kevakuman evaporator saat penelitian berlangsung adalah $5,76 \times 10^{-6}$ mBar pada evaporasi pemanasan substrat kaca 150°C dan $3,39 \times 10^{-6}$ mBar pemanasan substrat kaca 200°C . Adanya keterbatasan evaporator Univex 450 saat penumbuhan thin film GaSb, maka kesempurnaan terjadinya thin film dengan karakteristik sesuai dengan referensi belumlah dicapai. Namun demikian secara keseluruhan bahwa proses penumbuhan thin film GaSb secara evaporasi thermal menggunakan evaporator Univex 450 merupakan cara yang tepat dianjurkan.

Pada Tabel 1 nampak bahwa konstanta kisi dari substrat kronig pada temperatur pemanasan 150°C dan 200°C berbeda. Thin film GaSb pada substrat kronig dengan temperatur pemanasan 200°C konstanta kisi (a) $6,24 \text{ \AA}$ merupakan konstanta kisi yang dapat diterima dan sesuai dengan referensi ($6,118 \text{ \AA}$). Hal ini mengisyaratkan bahwa temperatur pemanasan substrat merupakan hal yang menentukan keberhasilan dalam penumbu-

han thin film. Dapat dilihat bahwa pemanasan substrat pada temperatur 200°C merupakan proses penumbuhan thin film GaSb yang cukup mendekati hasil referensi baik pada substrat kaca ataupun kronig. Oleh karena itu, perlu penelitian guna memperoleh temperatur pemanasan substrat yang tepat sehingga dihasilkan thin film GaSb dengan konstanta kisi yang cocok dengan referensi.

Hasil analisis *four point probe* thin film GaSb menunjukkan bahwa tipe thin film berupa tipe n, tipe p dan tipe campuran (n-p). Sedangkan resistivitas (ρ) thin film GaSb menunjukkan $(3,85\text{-}4,60) \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ untuk tipe n.

Tabel 3. Hasil analisis dengan *four point probe* thin film GaSb

Substrat	Tipe	Resistivitas ρ ($\Omega \text{ cm } 10^{-4}$)
2KA.150	n	3.85-4.60
3KA.150	n	4.45-6.32
4KA.150	p	1.05-1,16
2KA.200	n	1.14-1,38
3KA.200	n - p	1,02-1,78
4KA.200	p	1,22-1,58

Angka rata-rata tujuh kali analisis thin film GaSb yang sama.

Hasil analisis *four point probe* pada thin film GaSb hasil penumbuhan pada temperatur pemanasan substrat 200°C menunjukkan tipe n, tipe p dan tipe campuran (n-p). Thin film GaSb dengan tipe n mempunyai resistivitas (ρ) $(1,14\text{-}1,38) \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$.

Kesimpulan

Hasil penumbuhan thin film GaSb substrat kaca dan kronig dengan temperatur pemanasan 150°C dan 200°C mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Karakteristik thin film GaSb substrat kaca dengan temperatur pemanasan

- 150⁰C adalah konstanta kisi (a) 6,52-6,58 Å, sistem kristal kubik, volume 205,10-210,81 Å³, indeks miller (111, 220, 222, dan 333 atau 511) dengan struktur kristal kubik pusat muka. Resistivitas (ρ) thin film GaSb adalah (3,85-4,6) x 10⁻⁴ Ω cm, (4,45-6,32) x 10⁻⁴ Ω cm tipe n, dan (1,05-1,16) x 10⁻⁴ Ω cm tipe p.
2. Karakteristik thin film GaSb substrat kaca dengan temperatur pemanasan 200⁰C adalah konstanta kisi (a) 6,52-6,53 Å, sistem kristal kubik, volume 205,10-206,04 Å³, indeks millar (111, 220, 222, dan 333 atau 511) dengan struktur kristal kubik pusat muka. Resistivitas (ρ) thin film GaSb (1,14-1,38) x 10⁻¹ Ω cm tipe n, dan (1,22-1,58) x 10⁻¹ Ω cm bertipe p, dan (1,02-1,78) x 10⁻¹ Ω cm tipe n-p.
 3. Karakteristik thin film GaSb substrat kronig dengan temperatur pemanasan 150⁰C adalah konstanta kisi (a) 6,56 Å, sistim kristal kubik, volume 208,90 Å³, indeks miller (111, 220, 222, 333, dan 511) dengan struktur kristal kubik pusat muka.
 4. Karakteristik thin film GaSb substrat kronig dengan temperatur pemanasan 200⁰C adalah konstanta kisi (a) 6,24 Å, sistem kristal kubik, volume 179, 79 Å³, indeks miller (111, 220, 222, 333 dan 511), dengan struktur kristal kubik pusat muka.
 5. Thin film GaSb substrat kronig dengan temperatur pemanasan substrat 200⁰C mempunyai karakteristik konstanta kisi (a) 6,24 Å dan sifat fisis lainnya cocok dengan referensi.
1. Armin segmuller and Masanori Murakani, 1985. *Characterization of thin films by x-ray Diffraction Academic Press, Inc.* pp.325-351.
 2. Cullity, B.D., 1997. *Elements of x-ray diffraction addismwesley Publishing company, Inc Notre Dame, Indiana.* Pp.555.
 3. Effer, D and P.J Etor, 1964. *Journal Physical, chemical solids 25 (1964).* pp. 451.
 4. Fraas, L.M., P.S. McLeod, L.D. Partain, and J. A. Cape, 1987. *GaSb Films Grown by Vacuum Chemical Epitaxy Using Triethyl Antimony and Triethyl Gallium Sources. Journal of Applied Physics 6 (8).* American Institute of Physics. pp. 2861-2865.
 5. Garandet, J. P., T. Duffar and J. J. Favier, 1989. *Vertical Gradient Freeze Growth and Characterization of High Quality GaSb Single Crystals. Journal of Crystal Growth 96 (1989).* North-Holland, Amsterdam. Pp. 888-898.
 6. Gault, W. A, E. M. Monberg and J. E. Clemans, 1986. *Journal Crystal Growth 74 (1986).* pp. 491.
 7. Harald Ibach Hans Luth, 1993. *Semiconductor in Solid-State Physics. An Introduction to Theory and Experiment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hongkong Barcelona Budapest.* pp. 275-324.
 8. Horison Hale, 1957. *The Elements dalam Hand Book of Chemistry and Physics (Charles D. Hodgman, ed. Chief). Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio.* Pp. 357.
 9. John G. Albright, 1957. *Physical Crystallography dalam Hand Book of Chemistry and Physics (Charles D. Hodgman, ed. Chief). Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio.* pp. 2476.
 10. Kalheibz Seeger, 1985. *Semiconductor Physics. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New YorkTokyo.* pp. 443.
 11. Lee, M., D. J. Nicholas, K. E. Singer, and B. Hamilton, 1986. *Photoluminescence and Hall-effect Study of GaSb Grown by Molecular-beam Epitaxy. Journal of Applied Physics 59 (8).* American Institute of Physics. pp. 2895-2900.
 12. Leifer, H.N and W. C Dunlap, Jr., 1954. *Physical Review 95 (1954).* pp. 51.
 13. P. S. Kireev, 1974. *Semiconductor Physics. Mir. Publisher, Moscow.* pp. 662.

Daftar Pustaka

1. Armin segmuller and Masanori Murakani, 1985. *Characterization of thin films by x-ray Diffraction Academic Press, Inc.* pp.325-351.
2. Cullity, B.D., 1997. *Elements of x-ray diffraction addismwesley Publishing*