

PENURUNAN *NOISE FIGURE PERFORMANCE* (F_n) PADA HBT SI / SI_{1-X} GE_X BERDASARKAN PENGATURAN STRIPE EMITER AREA (A_e) DAN FRACTION MOLE (X).

Tossin Alamsyah¹, Djoko Hartanto², NR Puspawati³

¹Mahasiswa Program S3 Fakultas Teknik Universitas Indonesia

¹Staf Pengajar Politeknik Negeri Jakarta

e-mail : alamsyah_pnj@yahoo.co.id

^{2,3}Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

ABSTRACT

Paper ini membahas pengaruh perubahan stripe emiter area (A_e) dan fraction mole (x) terhadap unjuk kerja HBT SiGe antara lain Resistensi parasitis R_B dan R_C , f_T , f_{maks} , current gain (β) serta noise figure (F_n), model dikembangkan dari HBT SiGe IBM generasi kedua dengan A_e $0,18 \times 10 \mu m^2$. Saat A_e diturunkan menjadi A_e $0,12 \times 10 \mu m^2$ dan A_e $0,09 \times 10 \mu m^2$ dan fraction mole (x) dinaikkan menjadi dua kali (2) maka parameter R_B , dan β mempunyai relasi positif sedangkan R_C , f_T , f_{maks} negatif terhadap perubahan tersebut. Model HBT SiGe dengan x : 0.1 dan A_e : $0,18 \times 10 \mu m^2$ mempunyai nilai F_n minimum terendah dibanding dengan A_e $0,12 \times 10 \mu m^2$ dan $0,09 \times 10 \mu m^2$ yaitu 0.57 dB, 0.64 dB, 0.69 dB. Jika nilai fraction mole (x) diturunkan 50%, menyebabkan kenaikan F_n yang tidak linier yaitu 77%, 79% dan 89% dari nilai semula. Relasi noise figure (F_n) dengan stripe emiter area (A_e) dan fraction mole (x) diekspresikan dengan relasi berikut ; $F_n \cong K_O / A_e \cdot x$, jadi noise figure (F_n) dapat diperkecil dengan memperarea stripe emiter area (A_e) dan menaikkan fraction mole (x).

Kata kunci : Noise Figure (F_n), stripe emiter area (A_e), fraction mole (x), SiGe HBT

ABSTRAK

Paper ini membahas pengaruh perubahan stripe emiter area (A_e) dan fraction mole (x) terhadap unjuk kerja HBT SiGe antara lain Resistensi parasitis R_B dan R_C , f_T , f_{maks} , current gain (β) serta noise figure (F_n), model dikembangkan dari HBT SiGe IBM generasi kedua dengan A_e $0,18 \times 10 \mu m^2$. Saat A_e diturunkan menjadi A_e $0,12 \times 10 \mu m^2$ dan A_e $0,09 \times 10 \mu m^2$ dan fraction mole (x) dinaikkan menjadi dua kali (2) maka parameter R_B , dan β mempunyai relasi positif sedangkan R_C , f_T , f_{maks} negatif terhadap perubahan tersebut. Model HBT SiGe dengan x : 0.1 dan A_e : $0,18 \times 10 \mu m^2$ mempunyai nilai F_n minimum terendah dibanding dengan A_e $0,12 \times 10 \mu m^2$ dan $0,09 \times 10 \mu m^2$ yaitu 0.57 dB, 0.64 dB, 0.69 dB. Jika nilai fraction mole (x) diturunkan 50%, menyebabkan kenaikan F_n yang tidak linier yaitu 77%, 79% dan 89% dari nilai semula. Relasi noise figure (F_n) dengan stripe emiter area (A_e) dan fraction mole (x) diekspresikan dengan relasi berikut ; $F_n \cong K_O / A_e \cdot x$, jadi noise figure (F_n) dapat diperkecil dengan memperarea stripe emiter area (A_e) dan menaikkan fraction mole (x).

Kata kunci : Noise Figure (F_n), stripe emiter area (A_e), fraction mole (x), SiGe HBT

PENDAHULUAN.

Konsep heterojunction bipolar transistor (HBT) ditawarkan oleh Shockley dan Kromer [1] konsep ini merupakan suatu lompatan dalam perkembangan teknologi material semikonduktor, khususnya pada perkembangan komponen Transistor Bipolar. Tahun 1989, IBM telah mengembangkan heterojunction bipolar transistor (HBT) Silikon dan Germanium

(SiGe) yang mencapai kecepatan hingga 210 GHz dengan kebutuhan arus listrik sebesar 1mA.[2] Hal ini terjadi karena adanya perubahan sifat fisis dan mekanisme material sehingga perilaku kecepatan arus listrik berubah, basis yang tersusun material Silikon dan Germanium mengakibatkan adanya perubahan energi bandgap (ΔE_g). Besarnya Energi

Bandgap (ΔE_g) ini disebabkan oleh *fraction mole*(x) Ge pada Si dan *Doping Concentration* pada pada basis. [3]

Teknologi epitaksi modern untuk SiGe seperti MBE (*Molecular Beam Epitaxy*) , UHV/CVD (*Ultra High Vacuum / Chemical Vapor Deposition*) dan LPCVD (*Low Pressure Chemical Vapor Deposition*) memungkinkan pengaturan profil doping dan komposisi Ge yang bervariasi pada sisi basis HBT sehingga dapat dirancang HBT SiGe yang memberikan penguatan arus, frekuensi *threshold* (f_T) dan frekuensi osilasi maksimum (f_{maks}) yang tinggi serta *minimum noise figure* yang rendah.

Beberapa tahun ini perkembangan teknologi SiGe heterojunction bipolar transistor (HBT) ini sungguh progressive, beberapa vendor mengembangkan divais HBT SiGe yang bekerja pada f_T , dan f_{max} , diatas 100GHz atau lebih, ini didukung dengan kemajuan teknologi lithografi. [4]. Generasi kedua HBT SiGe yang dikembangkan oleh IBM bekerja pada f_T sekitar 80 GHz, dengan lithografi 0.18 μ m dan generasi ketiga f_T maksimum hampir 200 GHz, dengan lithografi 0.12 μ m. HBT SiGe dengan unjuk kerja f_T dan f_{mak} , *current gain* yang tinggi dapat diperoleh dengan pengontrolan *fraction mole* (x) dan area basis, pengontrolan polycrystalin,[5] pengontrolan lengan emiter A_e . [6]

a) Energi bandgap pada HBT SiGe (Silikon Germanium).

Dua(2) pola sambungan pada heterojunction yaitu abrupt dan graded junction, kedua pola ini terjadi karena bentuk sebaran *mole fraction* (x) yang berbeda. Sebaran *mole fraction* (x) *abrupt junction* sifatnya *uniform* disetiap luasan sambungan sedangkan untuk *graded junction* berbeda disetiap luasan sambungan. Pada material $Si_{1-x}Ge_x$, penambahan Ge pada Si menyebabkan terjadinya penyempitan celah pita energi, besarnya celah pita energi ini dipengaruhi

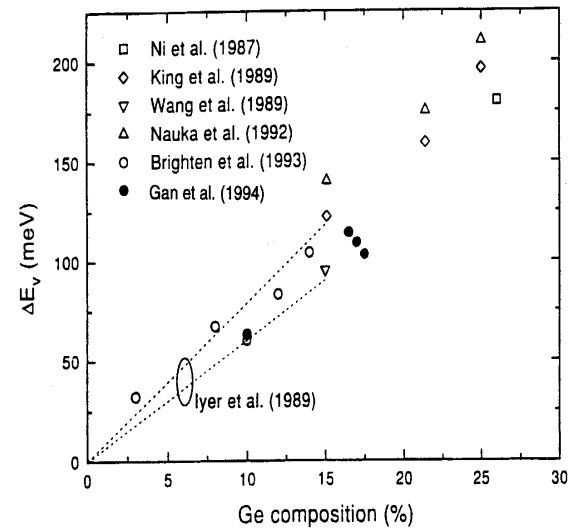
oleh banyaknya fraksi Ge yang digunakan seperti dinyatakan oleh Persamaan 1, sebagai model matematika dari $\Delta E_{g,Ge}$. Penyempitan celah pita energi akibat penambahan fraksi dan berlaku untuk nilai fraksi mole (x) kecil.[7] Selain terjadi penambahan Ge pada Si, bandgap energi ($E_{g,HD}$) pada bahan SiGe juga terjadi dipengaruhi oleh konsentrasi *Doping* tinggi pada basis (N_B) (*heavy doping*). Model penyempitan celah pita energi akibat konsentrasi *doping* ini dikespresikan sesuai Persamaan 2 [8], sehingga energi bandgap total (ΔE_g) sesuai Persamaan 3. [9]

$$\Delta E_{g,Ge} = 0,74x \tag{1}$$

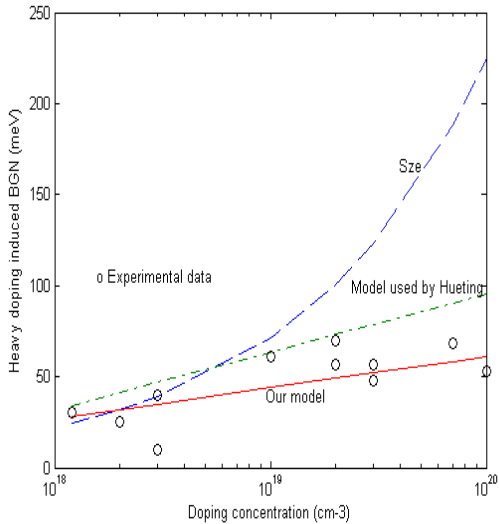
$$\Delta E_{g,HD}(N) = E_1 \left\{ \ln\left(\frac{N}{N_{ref}}\right) + \sqrt{\left[\ln\left(\frac{N}{N_{Ref}}\right)\right]^2 + C} \right\} \tag{2}$$

$$\Delta E_g = \Delta E_{g,Ge} + \Delta E_{gHD}(N) \tag{3}$$

Pada Gambar 1(a) dan 1(b) diperlihatkan data eksperimen yang menunjukkan besarnya diskontinuitas pada pita valensi sebagai fungsi fraksi Ge.



Gambar 1(a) Energi bandgap $\Delta E_{g,Ge}$ vs fraksi mole Ge (x) [9]



Gambar 1(b) Energi Bandgap($\Delta E_{g,HD}$) vs Doping Konsentrasi [10]

b) Densitas Arus Kolektor (J_c)

Dengan memperhitungkan pengaruh rekombinasi, densitas arus kolektor (J_c) dapat dinyatakan dengan Persamaan 4,5 dan 6. D_{nB} adalah konstanta difusi elektron pada basis untuk basis pendek (*short base*) dengan *doping* merata, [11] [12], Besarnya densitas arus kolektor pada HBT SiGe dipengaruhi oleh energi bandgap total (ΔE_g), sehingga *current gain* (β) dinyatakan Persamaan 6. [13]:

$$J_{B,dif} = -\frac{qD_p E n_i^2}{N_E W_e} \left\{ \exp\left(\frac{qV_{BE}}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (4)$$

$$J_{C,HBT} = \frac{qD_{nB} cm_{i0}^2 e^{(\Delta E_{g,H0} + \Delta E_{g,Ge})/kT}}{N_B W_b} \left\{ \exp\left(\frac{qV_{BE}}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (5)$$

Dengan demikian maka *current Gain* (β)

$$\beta_{SiGe} = \frac{N_{DE} W_e D_{nb}}{N_{AB} W_B D_{pe}} \exp(\Delta E_g / kT) \quad (6)$$

c) Resistansi kolektor (R_C), basis (R_B)

Model HBT SiGe yang dikembangkan oleh M.W. Hsieh 2006 [14], mempunyai dua (2) terminal base, dan satu (1) terminal emitter dan kolektor. HBT SiGe model dengan dua(2) terminal basis mempunyai Resistansi Basis dan Emitter yang lebih kecil, dibanding dengan HBT dengan satu (1) terminal basis. dengan demikian maka *Noise*

Figure Minimum (F_{min}) HBT dengan dua(2) terminal basis akan lebih rendah. Gambar 2a dan 2b menunjukkan *layout* Lateral dan Vertikal dari Model HBT SiGe. Resistansi basis (R_B atau R_{bb}) merupakan penjumlahan dari resistansi kontak $R_{b,cont.}$, Resistansi *base-emitter gap* R_{gap} an Resistansi *spreading* dibawah emitter R_{spread} , dengan demikian Resistansi basis sesuai dengan Persamaan 7.[14] Untuk selanjutnya nilai R_C dan R_B atau r_{bb} dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 8 [15],

$$R_{bb} = R_{b,con} + R_{gap} + R_{spread} \quad (7)$$

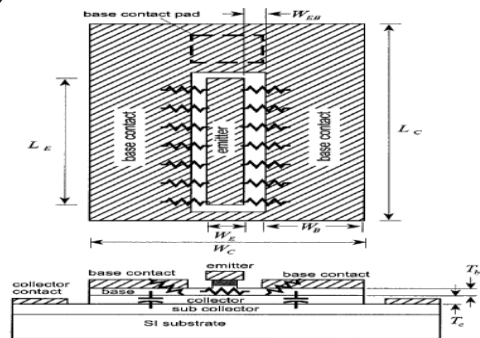
Yang mana $R_{b,cont} = \sqrt{\rho_a \rho_c / 2L_e}$..

$$R_{gap} = \rho_a W_{eb} / 2L_e \quad \text{dan}$$

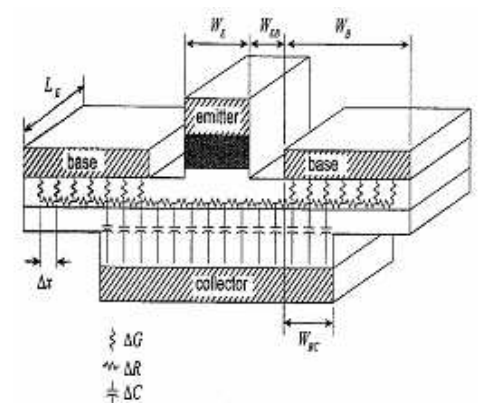
$$R_{spread} = \rho_a W_c / 12L_c$$

$$R_c = \frac{\rho_c}{L_c W_{e,contact}} + \frac{\rho_{cap} T_{cap}}{L_c W_{e,contact}} + \frac{\rho_{c2} T_{c2}}{L_c W_{c,junct}} + \frac{\rho_{c1} T_{c1}}{L_c W_c}$$

(8)



Gambar. 2a Cross section Lateral Model HBT SiGe.[15]



Gambar. 2b Cross section Vertikal Model HBT SiGe.[15]

d) Frekuensi treshold (f_T) dan Noise Figure (F_n) atau F_{min}

Frekuensi Treshold (f_T) adalah frekuensi transisi pada saat terjadi penurunan -3dB dari *gain voltage* atau *current gain* (β), arus kolektor (I_c), f_T dapat juga dinyatakan sebagai *emitter-colector transit time* yang diekspresikan dengan Persamaan 9a [6], $\tau_E, \tau_B, \tau_{RC}$ dan $\tau_{C,SCR}$ adalah waktu *discharging* yang dibutuhkan dari kelebihan elektron dari basis melalui sambungan kolektor dan $R_E = \frac{kT}{qJ_e}$, R_E , dan R_C Resistansi parasitic pada Emitor dan Kolektor serta C_{BC} kapasitansi olektor basis, hubungan antara f_T , f_{maks} dan R_B atau r_{bb} sesuai Persamaan 7 dan 8. [14] Dari Persamaan 10 diketahui bahwa f_{maks} berbanding terbalik dengan R_B Resistansi basis dan C_{bc} Capasitansi basis Kolektor dan berbanding lurus terhadap f_T . Pada divais frekuensi tinggi khususnya RF circuit *noise* merupakan hal penting, pada frekuensi tinggi *noise factor* dapat dihitung dengan pendekatan *black box small signal* model dengan berdasar parameter y_{11}, y_{12}, y_{21} dan y_{22} . Penurunan persamaan *Noise Figure* diturunkan berdasarkan nilai R_B, R_C , *Current Gain* (β) dan frekuensi *teshold* (f_T). Dengan menggunakan pendekatan lain *Noise Figure factor* (NF_{min}) dapat digunakan Persamaan 11 dan *Noise Figure minimum* F_{min} sesuai Persamaan 12.[8][16]

$$\tau_E = (C_{jc} + C_{je}) \frac{nkT}{qI_C},$$

$$\tau_B = \frac{X_B^2}{2D}, \tau_{RC} = (R_E + R_C)C_{JC}$$

$$\tau_{EC} = \tau_{tot} = \frac{1}{2\pi f_T} = \tau_E + \tau_B + \tau_{RC} + \tau_{C,SCR} \quad (9)$$

$$R_E = \frac{kT}{qJ_e}$$

$$f_{maks} = \sqrt{\frac{f_T}{8R_B C_{BC}}}, \quad (10)$$

$$\tau_B = R_B C_{BC} = \frac{f_T}{8f_{maks}^2}$$

$$NF_{min} \approx 1 + \sqrt{2} \frac{f_{maks}}{f_T} \sqrt{gm(R_E + R_B)} \quad (11)$$

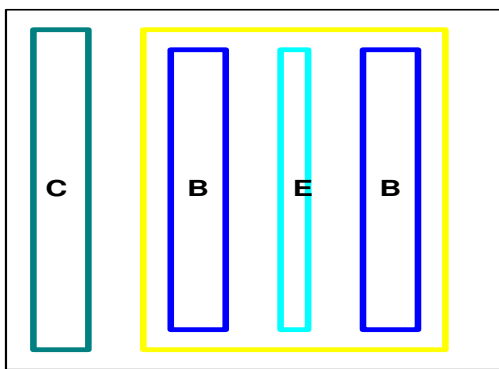
$$F_{min} = 1 + \frac{1}{\beta} + \sqrt{2 \frac{qI_c}{kT} R_B \left(\frac{f^2}{f_T^2} + \frac{1}{\beta} \right) + 1/\beta} \quad (12)$$

2. METODOLOGI.

Metode penelitian yang dilakukan dibuat pemodelan berdasarkan rancangan HBT SiGe IBM generasi kedua dengan area stipe emitter 0.18 μ m dengan f_T maksimum sekitar 84 GHz .Tools pemodelan yang digunakan adalah software *Bilpole3G* yang dikembangkan oleh BIPSIM Inc. Program simulator dapat mensimulasikan *terminal electrical caharacteristics* dari material *silicon* atau *silicon-germanium*.

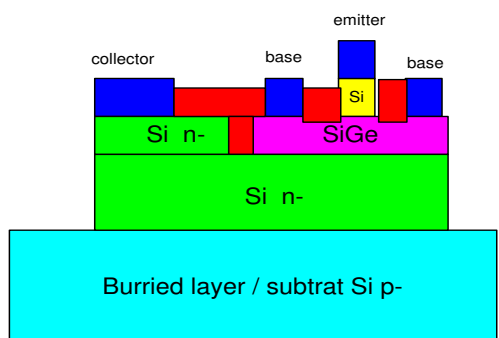
Software ini dirancang khusus untuk BJTs dan HBTs serta beberapa rancangan terbatas untuk MOSFETs, [17] software ini dapat memberikan informasi mengenai *geometry lay out* devais dan beberapa karakter *impurity elektron*. Dalam artikel ini dibahas peningkatan unjuk kerja HBT SiGe jika area *stripe smiter* (A_e) diperkecil dari 0.18 x10 μ m². menjadi 0.12 x10 μ m² kemudian 0.09 x10 μ m², dengan *fraction mole* (x) dinaikkan dari 0.05 menjadi 1, dengan demikian model HBT yang akan dianalisa diberi nama file; 009asli, 012asli dan 018asli untuk *fraction mole* (x) 0,005. dan 009asli_ge10, 012asli_ge10 dan 018asli_ge10 dengan *fraction mole* (x) 0.1. Pertama parameter yang diamati adalah Resistansi Basis dan Kolektor (R_B dan R_C), *Current Gain* (β), frekuensi treshold (f_T) dan *Noise figure minimum* (F_{min}).

Gambar 3(a) dan 3(b) menunjukkan layout geometri lateral dan vertikal dari model HBT SiGe dianalisa. Lay out ini diuji dengan Software Bipole3, dari hasil pengujian, model ini menghasilkan terminal output karakteristik dengan deviasi sekitar 7 % jika dibandingkan dengan HBT generasi kedua yang dikembangkan oleh IBM.



Length B, E diffusion length	10.e-4
Stripe Emitter width	0.18.e-4
Width of base contact	0.2e-4
Width of collector contact diffusion	0.54e-4
Distance betAeen the buried layer edge(after sideway diffusion) to the collector diffusion edge	0.54e-4
Width of diffusion base	1.1e-4

Gambar. 3a Layout Lateral Model HBT SiGe.



Emitter cap	Si n+ p	$2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	100nm	1
Emitter	Si n p	$2 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$	100nm	2
ext Base	Si _{0.95} Ge _{0.05} p+	$5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$		3
Base	Si _{0.95} Ge _{0.05} p+	$5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	5r	4
ext Base	Si _{0.95} Ge _{0.05} p+	$5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$		5
Colector	Si n- P	$4 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$	5nm	6
Sub Colector	Si n- P	$4 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$	1000	
Substrate	Si P-	$1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$	540nm	

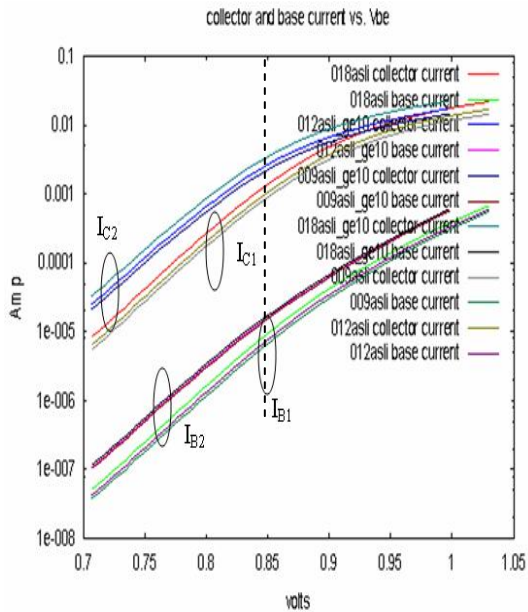
Gambar. 3b Layout Vertikal Model HBT SiGe.

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Pengaturan area *stripe* emitter (A_e) arah lateral dilakukan dengan cara memperkecil *stripe* emiter dari $0.18 \times 10 \mu\text{m}^2$ menjadi $0.12 \times 10 \mu\text{m}^2$ dan $0.09 \times 10 \mu\text{m}^2$ kemudian pengaturan *fraction mole* (x) dinaikkan dari 0.05 menjadi 1, hasilnya menunjukkan perubahan area *stripe* emiter A_e tidak mempengaruhi *energi bandgap* yang bernilai 0.12 eV. Tetapi untuk perubahan *fraction mole* (x) dari 1 menjadi 0.8, 0.5 dan 0.3 terjadi perubahan pada *energi bandgap* yaitu 0.16, 0.14, 0.12, 0.11 eV.

Gambar 4 menunjukkan rasio $J_{C,HBT}$ dan $J_{B,HBT}$ dengan perubahan *fraction mole* (x) dari 0.05 sampai 0.2 perubahan ini akan berpengaruh konsentrasi pembawa muatan pada SiGe besar n_{iSiGe} sebanding dengan *fraction mole* (x), hal ini terjadi karena adanya kenaikan energi bandgap (E_g) dan sesuai dengan persamaan 5 diatas. Untuk V_{BE} 0.65 volt dengan A_e , $0.18 \times 10 \mu\text{m}^2$, $0.12 \times 10 \mu\text{m}^2$ dan $0.09 \times 10 \mu\text{m}^2$ dengan *fraction mole* (x) 0.05 menghasilkan I_C [5] 8,5mA, 6,5 mA dan 5,5 mA. Dan *mole fraction* (x) dinaikkan menjadi 2 kali maka nilai I_C menjadi 335 mA, 225 mA dan 215 mA. Tetapi untuk nilai I_B relatif sama yaitu 5 mA, untuk mole fraction (x) 0.05 dan 11 mA untuk *mole fraction* (x) 0.01. Relasi antara I_C , dengan *mole fraction* (x) adalah ;

$$I_C \approx k.F(x, A_e)_{V_{BE, Konstan}}$$

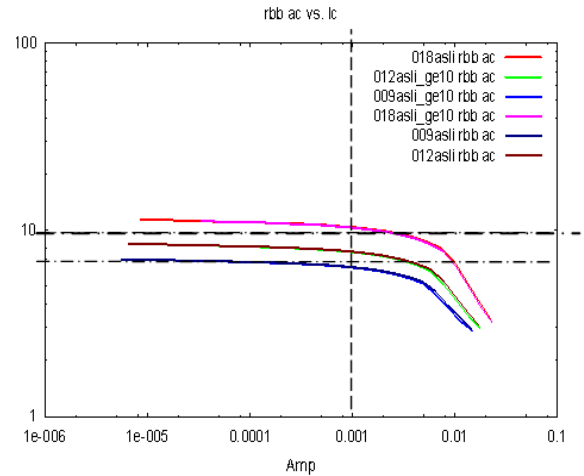


Gambar 4 . Arus kolektor dan basis vs V_{BE}

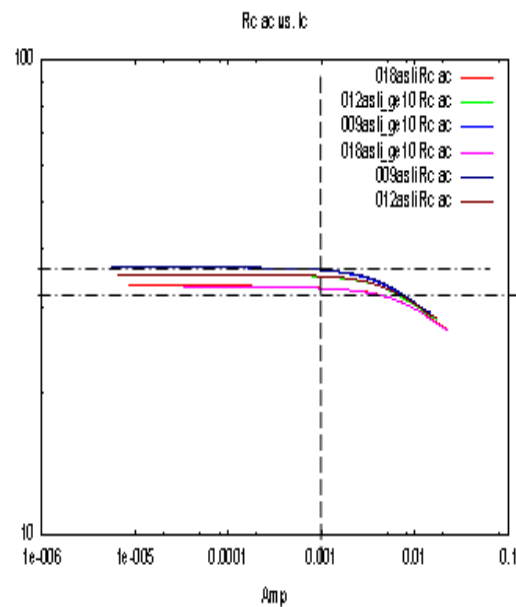
a) Pengaruh area stripe emiter (A_e) dan mole fraction (x), Resistansi Basis (R_B) dan Kolektor (R_C).

Pengaturan area stripe emitter (A_e) arah lateral dilakukan dengan cara memperkecil stripe emiter diturunkan dari $0.18 \mu\text{m}$ menjadi $0.12 \mu\text{m}$ dan $0.09 \mu\text{m}$, maka Resistansi basis (R_B) bernilai 10, 7 dan 6 ohm dan Resistansi kolektor (R_C) naik dari 45 ohm, 52 ohm dan 58 ohm kedaan ini diambil saat arus I_C 0.001 A. Jadi R_B dan R_C tidak terpengaruh oleh kenaikan mole fraction (x) yang diubah dari 0.05 menjadi 0.1. Dengan demikian fungsi perubahan stripe emitter area (A_e) terhadap R_B dan R_C dapat dituliskan sebagai berikut ; $A_e \approx k_0 \cdot F(\frac{R_B}{R_C})_{I_C, \text{konstan}}$.

Gambar 5(a) dan 5(b) menunjukkan hubungan antara I_C vs R_B , dan R_C .



Gambar 5(a). Resistansi basis (R_B) vs I_C

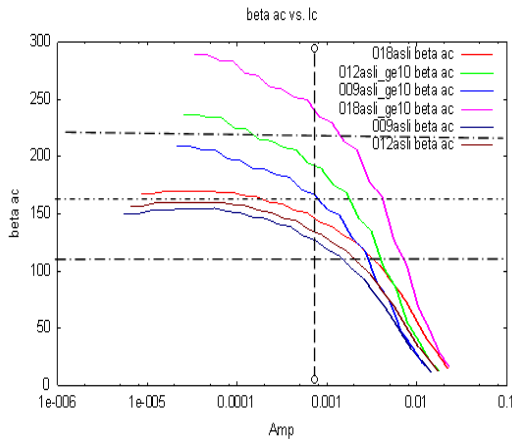


Gambar 5(b). Resistansi Kolektor (R_C) vs I_C

b) Pengaruh area stripe emiter (A_e) dan mole fraction (x) pada current gain (β).

Perubahan area stripe emiter (A_e) akan berbanding langsung terhadap nilai current gain (β), pada saat A_e $0.18 \times 10 \mu\text{m}^2$, $0.12 \times 10 \mu\text{m}^2$ dan $0.09 \times 10 \mu\text{m}^2$ serta mole fraction (x) 0.05, current gain (β) bernilai 140, 130 dan 120 pada saat I_C 0.001A. Kemudian ketika mole fraction (x) dinaikkan menjadi 0.1 (2 kalinya) maka Current gain (β) naik menjadi 245, 205 dan 180 hal ini sesuai dengan Persamaan 6 di atas, Current gain (β) naik jika mole fraction (x) naik karena bertambahnya bilangan konstanta

$(\Delta E_g / kT)$. Hubungan antara area *stripe emitter* (A_e) dengan *current gain* (β) sebagai berikut; $\beta \approx k.F(A_e.x)$ saat I_C ,konstan relasi antara *current gain* (β) dengan arus kolektor (I_C) untuk nilai A_e dan *mole fraction* yang bervariasi, ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Current Gain (β) vs I_C

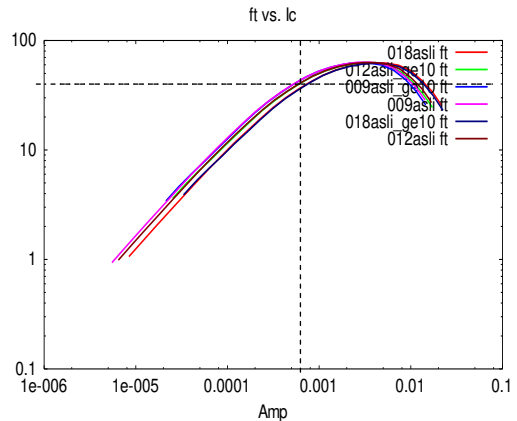
3.3. Pengaruh area stripe emiter (A_e) dan mole fraction (x) terhadap f_T dan f_{maks} ,

Frekuensi threshold (f_T), sangat dipengaruhi oleh area basis pada arah vertikal dengan relasi berbanding terbalik, jika area basis arah vertikal mengecil maka nilai frekuensi *threshold* (f_T) meningkat, pada riset ini lebar basis (w_b) dibuat tetap, tetapi yang diubah adalah area *stripe emitter* (A_e) ketika A_e diturunkan dari $0.18 \times 10 \mu m^2$ menjadi $0.12 \times 10 \mu m^2$ dan $0.09 \times 10 \mu m^2$ dan *mole fraction* (x) dinaikkan menjadi 0.1 (2kali) maka didapat frekuensi *threshold* (f_T) 48 GHz, f_{maks} 101 GHz, f_T 52,4 GHz, f_{maks} 123 GHz serta f_T 56 GHz dan f_{maks} 134 GHz. Kemudian *mole fraction* (x) dinaikkan menjadi 0.1 (2kali) maka didapat nilai f_T dan f_{maks} , masing-masing f_T 47,5 GHz, f_{maks} 101 GHz, f_T 52,2 GHz, f_{maks} 123 GHz, dan f_T 56,5GHz, f_{maks} 142 GHz. Jadi meskipun tidak terlalu signifikan dapat dinyatakan bahwa area *stripe emitter* (A_e) berbanding terbalik dengan nilai frekuensi *threshold* (f_T) pada HBT SiGe.

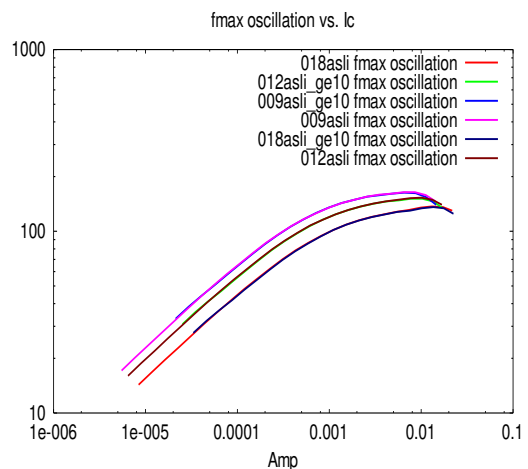
$$A_e \approx k.F\left(\frac{1}{f_T.f_{maks}}\right) \text{ saat } I_C, \text{konstan untuk}$$

hubungan *mole fraction* (x) hubungan dengan f_T dan f_{maks} dapat mempunyai relasi; $x_{(molefraction)} \approx k.F(f_T.f_{maks})$ jadi jika x naik maka f_T dan f_{maks} cenderung naik.

Gambar 7 dan 8 menunjukkan hubungan frekuensi HBT SiGe f_T dan f_{maks} terhadap area *stripe emitter* (A_e), dan *mole fraction* (x) pada saat I_C 0.001A.



Gambar 7 . Frekuensi *threshold* (f_T) vs arus kolektor (I_C).



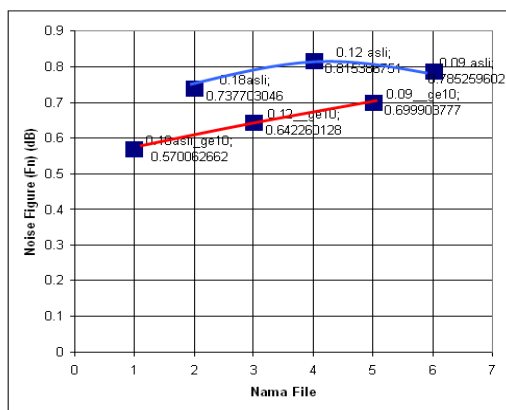
Gambar 8 . Frekuensi *osc* (f_{maks}) vs arus kolektor (I_C).

3.4. Pengaruh area stripe emiter (A_e) dan mole fraction (x) terhadap Noise Figure Minimum (F_n).

Tabel 1 menunjukkan rangkuman hasil karakteristik pemodelan HBT, pada saat VBE 0,65 Volt, yang terdiri dari 6 model dengan pengaturan area *stripe emitter* (A_e) dan *mole fraction* (x), model dinyatakan dengan nama file: 0.18asli,

0.12 asli dan 0.09 asli untuk *fraction mole* (x) 0.05 dan 0.18 asli_{ge10}, 0.12_{ge10}, 0.09_{ge10} untuk *mole fraction* (x) 0.1. Gambar 9 menunjukkan *Noise Figure Minimum* (F_n) untuk HBT model dengan *stripe* emiter (A_e) dan *fraction mole* (x) yang bervariasi, mulai (A_e) 0.09x10μm², 0.12x10μm² dan 0.18 x10μm² dan *mole fraction* (x) 0.05 maka F_n akan turun sejalan dengan kenaikan A_e yaitu 0.78 dB, 0.82dB dan turun ke 0.73dB, dengan cara yang sama ketika *mole fraction* (x) dinaikkan menjadi dua kalinya (bernilai 0.1) maka F_n , turun dari 0.69 dB, 0,64dB dan 0.57dB. Dari fenomena ini dapat diketahui relasi antara *area stripe emiter* (A_e) terhadap *Noise Figure* (F_n) berbanding terbalik, dan mempunyai

$$F_n \approx k.F\left(\frac{1}{A_e}\right)_{x,konstan}$$



Gambar 9. Noise Figure HBT Model.

3 KESIMPULAN.

Dari hasil analisa pemodelan di atas dapat disimpulkan bahwa; *noise figure* (F_n) dapat diperkecil dengan memperbesar *area stripe emiter* (A_e) dan menaikkan *mole fraction* (x). Model HBT SiGe dengan x=0,1 dan A_e=0,18x10μm² memiliki F_n terkecil dibandingkan dengan Ae 0,12x10μm² dan 0.09 x10μm² yaitu 0.57 dB ; 0.64 dB dan 0.69 dB.

Hubungan *noise figure minimum* (F_n) dengan *are stripe emiter* (A_e) dan *mole fraction* (x) berbanding terbalik.

Ucapan Terima kasih.

Ucapan terima kasih DP2M Dikti yang telah memberikan bantuan dana dalam melaksanakan Penelitian Fundamental dengan kajian HBT SiGe.

DAFTAR ACUAN

- [1] S.M Sze, "Physics of Semiconductor Devices," John Wiley and Sons 3rd Edition, 1999.
- [2] shrum@rpi.edu, diakses Maret 2005.
- [3] Levent B. Sipahi, Thomas J Sanders, "An Investigation on Modeling and statistical Simulation of SiGe Heterojunction Bipolar Transistor for Characterizing their Dependence on Germanium content" Florida Institut of technology, tsander@ee.fit.edu, 2005
- [4] John D. Cressler, "Using SiGe HBTs for Mixed-Signal Circuits and Systems" Opportunities and Challenges School of Electrical and Computer Engineering 777 Atlantic Drive, N.W. Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0250, Abs. 1282, 206th Meeting, © 2004 The Electrochemical Society, Inc.
- [5] Kunz V.D. dkk, "Application of Poly crystalline SiGe for gain Control in SiGe Heterojuunction, Departmdn of Electronics & Computer Science", University of Southhamton, Southampton So17 1BJ, England,
- [6] Shintadewi Julian E., "Perancangan Heterojunction Bipolar Transistor Silikon Germanium untuk Memperoleh Frekuensi Cutoff dan Frekuensi Osilasi Maksimum Lebih dari 130 GHz", Disertasi tidak diterbitkan, Universitas Indonesia, 2004.
- [7] Hueting R.J.E, Charge Carrier Transport in Silicon Germanium Heterojunction Bipolar Transistors, Ph.D. Thesis Delft University of Technology, Netherland, 1997.
- [8] Juan M Lopez-Gonzales, Lusi Prat, "The importance of Bandgap Narrowing Distribution between the conduction and Valence band in Abrupt HBTs", IEEE transaction on

- Electron devices, vol 44, No. 7 July 1997.
- [9] Pejcinovic, Branimir, dkk., "A Numerical Study of Performance Potential of $\text{Si}_{(1-x)}\text{Ge}_x$ Pseudomorphic Heterojunction Bipolar Transistor", IEEE Transaction on Electron Devices, Vol. 39, No. 9, September 1992.
- [10] E. Shintadewi Julian¹, Tossin Alamsyah², "The Nonlinear Model of Heavy Doping Induced Bandgap Narrowing in SiGe HBT" Quality in Research, University of Indonesia, 2006
- [11] Benedicte Le Tron, MD R Hashim, Peter Ashburn, Mirelli Mouis, Alan Chantre and Gilbert Vincent. "Determination of Bandgap Narrowing and Parasitic Energy Barriers in SiGe HBT", IEEE Transaction on Electron Devices, vol 44, No. 5 May 1997.
- [12] K. Das, Mukul dkk., "Performance Analysis of a SiGe/Si Heterojunction Bipolar Transistor for Different Ge – Composition," University of Calcuta 92 Acharya P.C road, email: nrd@jeee.org, diakses maret 2006.
- [13] Oever, van den, L. K. Nanver¹, J. W. Slotboom "Comparing the High-Frequency Performance of Box-Ge and Graded-Ge SiGe HBT's" Delft University of Technology Laboratory of Electronic Components,
- [14] Technology and Materials (ECTM) – DIMES, Feldmannweg 17, P.O. Box 5053, 2600 GB Delft, The Netherlands Tel.: +31 - 15 278 2185, Email: loever@dimes.tudelft.nl, diakses maret 2008
- [15] M.W. Hsieh, C.C. Ho, H.P. Wang, C.Y. Lee*, G.J. Chen*, D.T. Tang*, and Y.J. Chan "Frequency Response Improvement of 120 GHz fT SiGe HBT by Optimizing the Contact Configurations" Department of Electrical Engineering, National Central University, Chung-li, Taiwan 32054, R. O. C, 2006

