

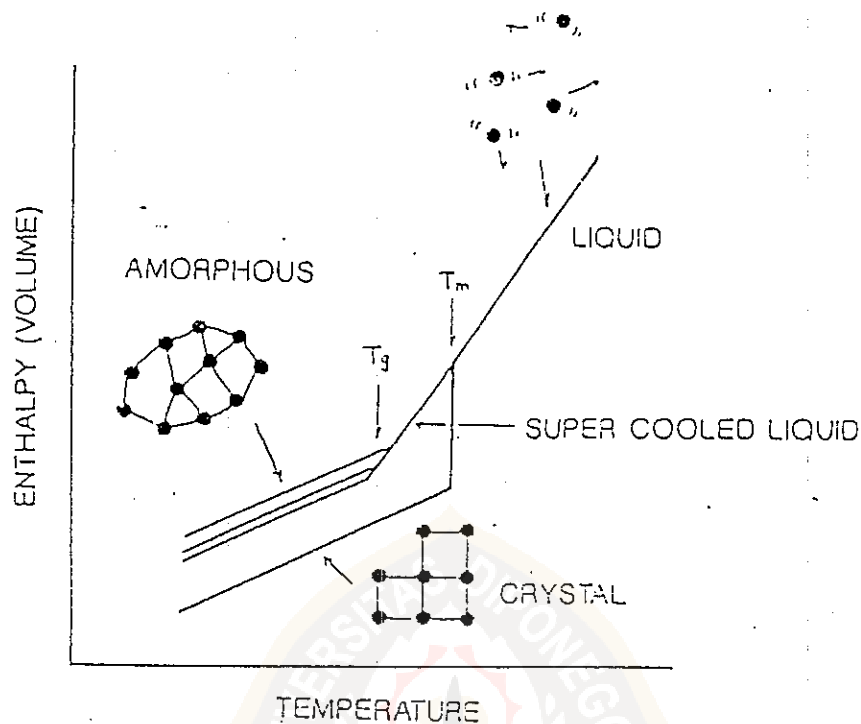
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Struktur Padatan Amorf

Selain bahan semikonduktor yang mempunyai struktur kristal juga dapat digunakan bahan yang berstruktur *non kristal* atau dengan kata lain amorf untuk bahan semikonduktor. Secara umum, material amorf dibentuk dengan metode pendingin cepat (*rapid cooling method*) dari keadaan cair menjadi padat. Pada fase cair atom-atom bergerak secara leluasa dan jika didinginkan secara cepat dengan berdasarkan garis proses kesetimbangan termodinamika, maka akan memasuki fase cair super dingin (*super-cooled liquid phase*) dan mencapai titik transisi gelas. Pada keadaan tersebut terbentuk amorf seperti ditunjukkan pada gambar (2-1).

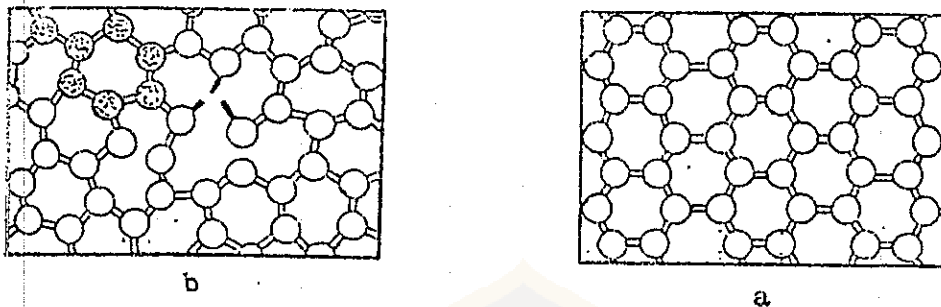
Jones (Danker, 1985) menyatakan bahwa proses kristalisasi adalah suatu transisi orde pertama yang ditandai dengan perubahan volume secara tak kontinu pada titik leleh, dalam hal ini penurunan volume pada proses pembekuan. Sebaliknya pada pembekuan amorf ditandai dengan perubahan volume secara kontinu sampai mencapai pada transisi gelas (T_g).



Gambar (2-1): Skema Pembentukan Amorf (1)

Pada umumnya padatan kristal mempunyai struktur yang lebih baik keteraturannya bila dibanding dengan padatan amorf, karena padatan kristal mempunyai keteraturan berjangkauan panjang. Sifat dasar padatan amorf tingkat keteraturannya sampai dua atom tetangga terdekat, sedangkan untuk jangkauan panjang jarak antara atom tidak lagi teratur karena adanya sudut deviasi ikatan. Pada amorf jarak dari pusat atom ke atom-atom yang melingkupinya tidak teratur dikarenakan atom-atom yang melingkupinya tersebut menempati secara acak.

Struktur padatan kristal dan padatan amorf memperlihatkan bahwa untuk rentang panjang keduanya menunjukkan susunan yang berbeda. Tetapi hampir selalu ditemukan paling sedikit susunan atom tetangga terdekat sama antara fasa kristal dan fasa amorf. Untuk lebih jelas ditunjukkan pada gambar (2-2).



Gambar (2-2) : a. Struktur padatan kristal. ⁽¹⁾
b. Struktur padatan amorf.

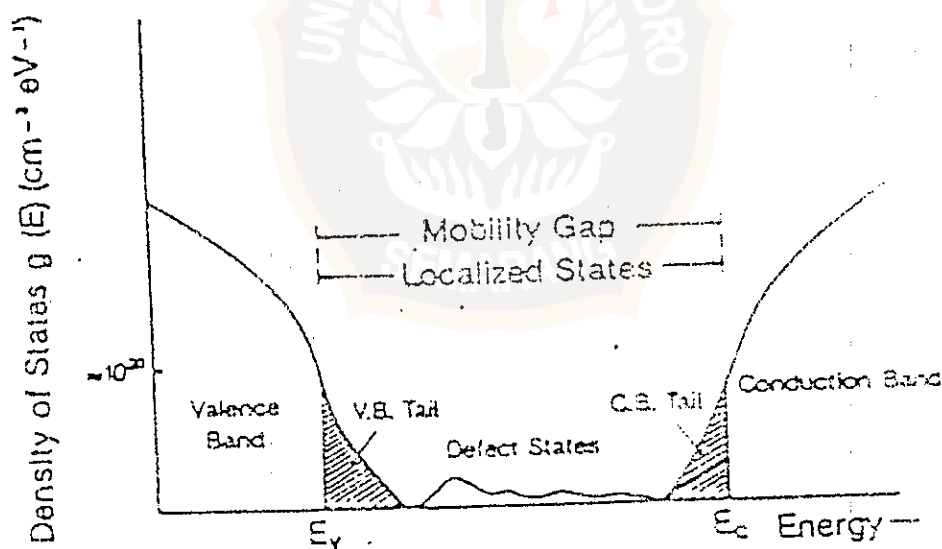
Eksperimen membuktikan bahwa satuan dasar dari letak hubungan tetangga terdekat dari germanium amorf adalah sama dengan kondisi struktur kristal. Bagaimanapun amorf memperlihatkan perbedaan perubahan dari keteraturan berjangkau panjang dari tingkat kristal menuju berkurangnya kesempurnaan dari jarak hubungan dengan tetangga terdekat seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 : Hubungan Si dan Ge dengan tetangga terdekat^o

Group	Unsur	Ikatan	Jumlah koordinasi		Jarak antar atom	
			Kristal	Amorf	Kristal	Amorf
IV	Si	Si-(Si	4	4	2.35	2.37-2.41
	Ge	Ge-(Ge	4	4	2.43	2.47-2.54

2.1.1. Model Pita Pada Semikonduktor Amorf

Pada umumnya rapat keadaan $g(E)$, padatan amorf tidak jauh berbeda dengan padatan kristal dan untuk jarak tetangga terdekat keduanya identik. Tetapi keadaan material yang demikian menyebabkan timbulnya ekor pita (*band tail*) sebagai akibat penurunan keadaan secara berangsur-angsur (lihat gambar (2-3)). Pada gambar tersebut E_v dan E_c masing-masing menunjukkan pita valensi (*valence band*) dan pita konduksi (*conduction band*), serta adanya mobilitas celah (*mobility gap*) dan keadaan cacat (*defect states*) di dalam daerah keadaan terlokalisasi (*localized states*).



Gambar (2-3) : Model pita pada semikonduktor amorf
(Fritzsche, 1985)

Sifat-sifat penting semikonduktor ditentukan oleh keadaan elektron dekat pita yang terisi yang paling atas (*pita valensi*) pada dekat bagian bawah pita kosong pertama (*pita konduksi*) dan daerah inilah yang banyak menarik perhatian para ilmuwan untuk diamati terutama pada material amorf dan umumnya material non kristal. Fritzsche (1985) merangkum unsur-unsur penting sekitar rapat keadaan dari material non kristal sebagai berikut :

1. Semikonduktor non kristal mempunyai pita energi dengan keadaan elektron yang mana diperluas melalui material, oleh karena itu mengandung mobilitas yang terbatas.
2. Energi dari pita terisi paling atas (*pita valensi*) dan pita kosong terendah (*pita konduksi*) dipisahkan satu sama lain oleh celah energi.
3. Terdapat keadaan terlokalisasi yang meluas dari bagian pita valensi dan dari bagian bawah pita konduksi ke dalam celah.
4. Lebih ke dalam pada celah terdapat keadaan lokalisasi yang berasal dari impuritas atau dari atom-atom yang memiliki salah satu dari beberapa atau lebih ikatan kovalen atau yang diharapkan oleh valensi normal.
5. Mobilitas ujung E_v dan E_c memisahkan pita keadaan memberikan mobilitas terbatas bagi keadaan terlokalisasi yang biasanya tidak terjadi gerak dari elektron atau lubang.

6. Konduksi berlangsung baik secara termal maupun secara optis dengan eksitasi elektron diatas E_c atau lubang yang bermuatan positif dibawah E_v .

Hasil eksperimen diperoleh bahwa rapat keadaan pada keadaan terlokalisasi (*localized states*) adalah turun secara eksponensial dari ujung-ujung pita energi. Distribusi rapat keadaan pada keadaan terlokalisasi tersebut terdiri dari *donorlike states* dan *acceptorlike states* dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$g(E) = g_D(E) + g_A(E) \quad (2-1)$$

Bentuk sederhana g_D dan g_A dapat dirumuskan :

$$\begin{aligned} g_D(E) &= g_c \exp [(E_c - E) / kT_A] \\ g_A(E) &= g_v \exp [(E - E_v) / kT_D] \end{aligned} \quad (2-2)$$

Dengan g_c dan g_v masing-masing adalah rapat keadaan diujung pita konduksi dan pita valensi, serta T_D dan T_A adalah suhu karakteristik dari kemiringan distribusi *donorlike* dan *acceptorlike*⁽⁴⁾.

2.2. Silikon Amorf

Silikon amorf a-Si dapat dibuat dengan teknik evaporasi langsung dari fasa uap pada sebuah substrat. Silikon amorf yang terbentuk membentuk ikatan kovalen. Di dalam silikon amorf terdapat sifat-sifat sebagai berikut:

1. Banyak mengandung kekosongan mikroskopis seperti adanya pori-pori dan batas butiran.
2. Banyak ikatan kosong dalam tetrahedral.

3. Struktur atom dalam keadaan metastabil, khususnya untuk sudut dihedral terdapat distribusi ikatan yang lebar.

Semikonduktor seperti Si dan Ge memiliki struktur kristal dengan ikatan kovalen. Kedua material tersebut memiliki empat elektron valensi sehingga dinamakan tetravalen. Atom-atom tersebut membentuk kristal melalui ikatan kovalen dengan mengurung keempat elektron valensinya dengan empat elektron tetangga sehingga setiap unit sel kristal menghasilkan struktur tetrahedral. Kedua material ini merupakan kristal kovalen dengan struktur intan. Bila keempat elektron valensi dalam Si tidak terkoordinasi dengan empat elektron tetangganya, maka terjadi cacat (*defect*) yang lebih dikenal dengan ikatan kosong (*dangling bond*). Hal ini dapat dilihat pada gambar (2-4).a.

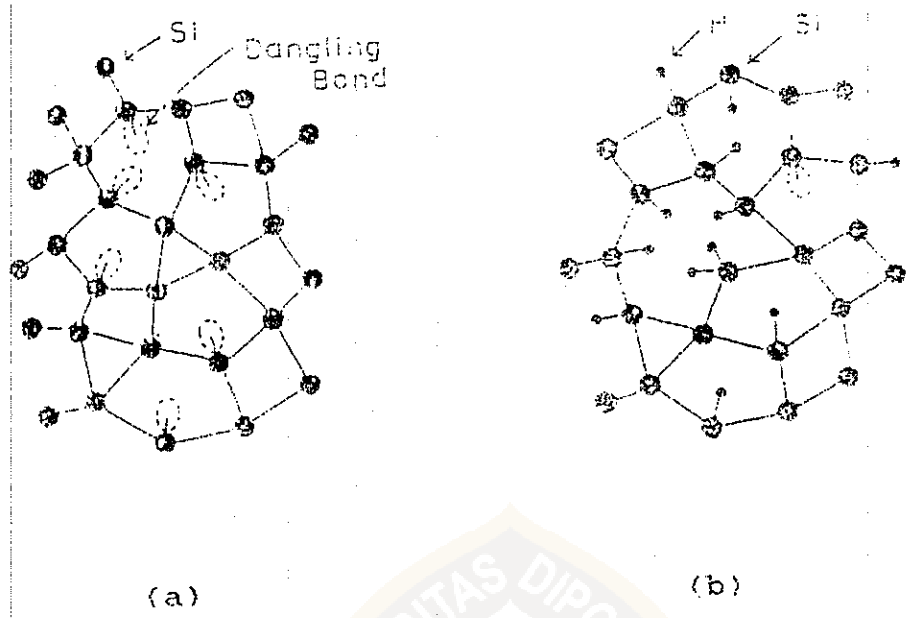
Banyaknya ikatan kosong pada padatan amorf menghasilkan beberapa keadaan celah terlokalisasi antara pita valensi dan pita konduksi. Adanya ikatan-ikatan kosong pada padatan amorf akan mempengaruhi struktur dan sifat-sifat material tersebut, baik sifat elektrik maupun sifat optisnya.

Sifat-sifat yang terdapat dalam silikon amorf tersebut diatas merupakan kekurangan dari silikon amorf, jika dibanding dengan silikon kristal. Kekurangan silikon amorf tersebut dapat diperbaiki dengan beberapa cara, salah satu cara adalah dengan medeposisikan

sejumlah atom hidrogen kedalam silikon amorf, sehingga akan membentuk silikon amorf terhidrogenisasi ($a\text{-Si:H}$), karena antara Si dan H akan membentuk ikatan kovalen. Proses hidrogenisasi tersebut dilakukan secara langsung yaitu dalam fasa uap. Kandungan hidrogen dalam $a\text{-Si:H}$ dapat menurunkan rapat ikatan-ikatan kosong dan menaikkan celah pita optik. Oleh karena itu penentuan konsentrasi yang tepat sejumlah hidrogen kedalam silikon amorf adalah suatu hal yang sangat penting untuk mendapatkan kualitas lapisan tipis $a\text{-Si:H}$ yang baik .

2.3. Struktur Silikon Amorf Terhidrogenisasi

Analisa struktur $a\text{-Si:H}$ dapat dimulai dengan pengetahuan tentang komposisi bahan tersebut. Komposisi suatu bahan atau material dapat dikategorikan kedalam unsur-unsur pokok atau unsur-unsur utama dan unsur-unsur pengotor. Unsur-unsur pengotor dapat dibedakan menjadi dua yaitu unsur pengotor yang digunakan sebagai *doping* dan unsur pengotor yang tidak dikehendaki. Unsur pengotor tersebut membentuk persekutuan sewaktu proses berlangsung dan lain halnya dengan unsur pengotor yang digunakan sebagai bahan dopan pada semikonduktor, dimana unsur dengan sengaja dimasukkan dan dikontrol secara seksama. Komposisi $a\text{-Si:H}$ terdiri dari unsur-unsur pembentuk utama Si, dan atom hidrogen 5% - 40%, dan lainnya terdiri dari unsur-unsur lain sebagai pengotor yang tidak dikehendaki misalnya O, C dan N.⁽²⁾



Gambar (2-4) : a. Struktur a-Si
b. Struktur a-Si:H

Tabel 2.2 : Perbandingan Silikon amorf murni dan terhidrogenisasi

	a-Si	a-Si:H
Ikatan lepas	$5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	10^{16} cm^{-3}
state dlm celah	$10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3} \text{ ev}^{-1}$	$10^{16} - 10^{17} \text{ cm}^{-3} \text{ ev}^{-1}$
Konduktivitas	Pelompatan pada tingkat fermi	Aktivitas ke pita atau ekor pita
Absorpsi optik	ekor-ekor sampai Infrared	dekat tepi 1,7 eV
Fotorespon	nihil	fotokonduktivitas fotoluminisense
Efek doping	tak tampak	type-n atau p mengubah konduktivitas 10^{10} kali

Struktur persekutuan atom-atom Si mempunyai jaringan acak kontinyu, dimana setiap atom Si adalah berkoordinat tetrahedral yaitu empat atom Si, tiga atom Si dan satu atom H, dua atom Si dan dua atom H, satu atom Si dan tiga atom H. Silikon amorf mempunyai keteraturan berjangkauan pendek sedangkan pada jangkauan panjang tidak lagi teratur karena adanya deviasi sudut ikatan. Jarak dari pusat atom yang melingkupinya tidak teratur dikarenakan atom-atom yang melingkupinya menempati posisi secara acak. Dalam silikon amorf sebagian besar jarak antara Si-Si mempunyai variasi sekitar 1% dari jarak optimalnya ($2,35\text{\AA}$).⁽⁹⁾ Struktur silikon amorf dan silikon amorf terhidrogenisasi dapat dilihat pada gambar (2-4).

2.4. Teknik Deposisi Lapisan Tipis

Pada dasarnya telah banyak metode pembuatan lapisan tipis yang dikembangkan oleh para ahli, namun pada tulisan ini hanya dibicarakan metode evaporasi. Metode evaporasi merupakan salah satu metode yang tertua dalam pendeposisian lapisan tipis khususnya untuk lapisan logam. Bahan dipanaskan hingga mencapai fasa uap, kemudian berkondensasi diatas permukaan lempeng (substrat) membentuk lapisan tipis. Agar dapat mengontrol komposisi material yang terevaporasi, maka evaporasi dilaksanakan pada kondisi hampa. Kecepatan deposisi dari uap tersebut pada substrat tergantung pada geometri sumber, posisi

relatif substrat pada terhadap sumber dan koefisien kondensasi. Pada proses ini komposisi depositnya sama dengan komposisi uap yang digunakan.

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam teknik evaporasi ini adalah sumber evaporasi (evaporan). Evaporasi yang biasanya sering digunakan diantaranya evaporasi filamen dan evaporasi pancaran elektron.

Pada evaporasi filamen, material sumber evaporasi diletakkan dekat atau pada vilamen yang terbentuk. Kelemahan evaporan ini adalah sulit untuk mengontrol ketebalan lapisan. Jenis dan bentuk vilamen harus disesuaikan dengan evaporan untuk menghindari kemungkinan terjadi reaksi.

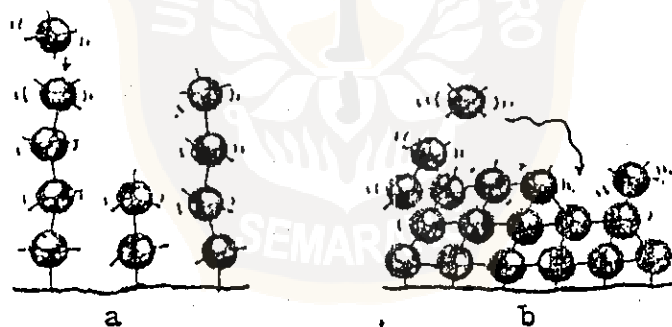
Pada sistem evaporasi pancaran elektron filamen bersuhu tinggi ditempatkan bersama dengan pengarah elektron. Pancaran elektron berintensitas tinggi (dengan tegangan mencapai 15 kV) ditempatkan pada material sumber yang ditempatkan pada krusibel air pendingin (water cooled crucible). Tenaga dari pancaran elektron ini melelehkan target sehingga material tadi terevaporasi pada substrat dalam bentuk lapisan tipis.

2.5. Penumbuhan Lapisan Tipis Pada Substrat

Reaksi radikal dalam penumbuhan lapisan tipis pada permukaan merupakan proses yang penting untuk menentukan sifat struktur, optik dan elektronik dari lapisan tipis yang dihasilkan. Radikal yang mencapai permukaan

penumbuhan lapisan tipis akan diabsorpsi oleh permukaan tersebut. Sebagaimana mulai berdifusi dan membentuk ikatan kimia pada beberapa tempat serta membentuk struktur jaringan amorf, sementara yang lain tergantung pada koefisien menumpuknya dari permukaan.

Struktur jaringan lapisan tipis pada prinsipnya ditentukan oleh energi relaksasi absorpsi perintis. Jaringan dengan densitas yang rendah tumbuh ketika panjang difusi permukaan sedemikian singkat untuk mendapatkan tempat yang menguntungkan energinya, sementara struktur jaringan yang rapat dapat diwujudkan ketika panjang difusi permukaan pada absorpsi cukup lama untuk menentukan tempat yang stabil energinya.



Gambar (2-5) : a. Jarak difusi permukaan pendek
b. Jarak difusi permukaan panjang

Panjang difusi permukaan dinyatakan sebagai akar kuadrat koefisien difusi permukaan dan waktu tunda radikal.⁽⁴⁾

$$l = \sqrt{2 D_s \tau_s} \quad (2-3)$$

dimana : l = panjang difusi permukaan
 D_s = koefisien difusi permukaan
 τ_s = waktu tunda radikal

Panjang difusi permukaan yang lebih besar pada radikal dapat dicapai dengan koefisien difusi permukaan yang lebih besar atau waktu tunda yang lebih lama pada permukaan. Dalam hal ini waktu tunda dianggap konstan ketika waktu rekombinasi radikal pada perintis adalah konstan pada saat satu radikal dipilih. Oleh karena itu, difusi permukaan D_s adalah faktor penting untuk menentukan struktur jaringan lapisan tipis yang dihasilkan.

Koefisien difusi permukaan pada absorpsi radikal dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$D_s = \nu a_o \exp \left[- \frac{E_s}{kT} \right] \quad (2-4)$$

dimana, ν = frekwensi getar radikal ⁽¹⁾

a_o = jarak pelompatan antar tempat

E_s = energi difusi untuk pelompatan tempat

K = konstanta Boltzman

T = temperatur permukaan

Jelas dari persamaan (2-4) bahwa suhu permukaan T yang lebih tinggi dan E_s yang lebih kecil menunjukkan D_s yang lebih besar. E_s memiliki korelasi yang kuat dengan reaktifitas absorpsi radikal pada penumbuhan permukaan.

Hal ini juga dihubungkan dengan koefisien penempelan dari absorpsi radikal, sebagai pelompatan yang lebih mudah antar tempat membantu desorpsi radikal dari permukaan.

2.6. Sifat Optik

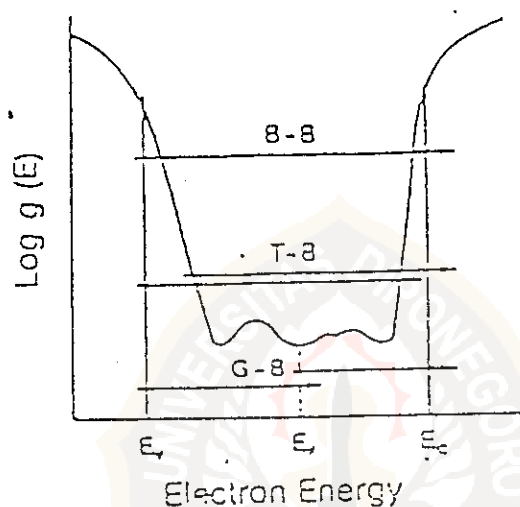
2.6.1 Absorpsi

Suatu sifat yang penting untuk mengetahui sifat optis material semikonduktor adalah dengan cara mengetahui absorpsi atau koefisien absorpsi (α). Hasil-hasil pengukuran sifat absorpsi tersebut merupakan informasi yang dapat digunakan untuk menganalisa sifat optis material semikonduktor.

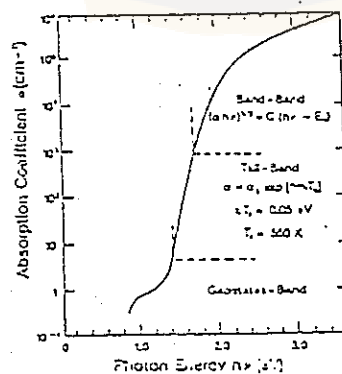
Pengukuran absorpsi dan reflaktansi dari suatu lapisan tipis akan dapat memberikan informasi tentang celah energi, besar koefisien absorpsi dan senjang celah optik.

Proses absorpsi optik ditunjukkan pada gambar (2-6). Pada gambar tersebut model pita diplot pada skala logaritma terhadap energi. Energi fermi terdapat pada pita energi yang ditempati oleh elektron dalam keadaan setimbang. Oleh karena pada dasarnya foton terserap secara lokal, maka eksitasi optik pada keadaan terlokalisasi tidak mungkin terjadi karena terpisah ruang. Eksitasi optik hanya dapat terjadi jika energi foton melebihi energi ambang. Dalam hal ini besar untuk mengangkut elektron dari E_v ke keadaan kosong diatas E_f atau dari keadaan terisi dibawah E_f ke E_c . Dalam keadaan

ini terjadi transisi antara celah dan pita energi (G-B) mulai pada energi sebesar energi ambang. Pada energi foton yang lebih tinggi terjadi transisi antara ekor pita dan pita energi (T-B), pada energi foton yang lebih besar lagi terjadi transisi pita-pita energi (B-B)



Gambar (2-6) : Proses absorpsi optik



Gambar (2-7) : Koefisien absorpsi sebagai fungsi $h\nu$

Oleh karena adanya perbedaan rapat keadaan $g(E)$ antara ekor dan celah energi, diharapkan agar spektrum absorpsi berbentuk seperti pada gambar (2-7). Absorpsi terkuat disebabkan oleh transisi B-B dan absorpsi terlemah disebabkan oleh transisi G-B. Daerah serapan T-B mendekati bentuk eksponensial yang mana mendukung anggapan bahwa $g(E)$ dari ekor keadaan turun secara eksponensial.

Daerah serapan tinggi adalah transisi B-B dengan $\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$ berlaku :

$$\sqrt{\alpha h\nu} = C (h\nu - E_0) \quad (2-5)$$

Persamaan ini dikenal sebagai *formula tauc*. Hal ini menandai transisi optik antara perluasan keadaan pada puncak pita valensi dan dasar pita konduksi.

Pada daerah serapan transisi T-B dengan harga α berada pada interval $1 \text{ cm}^{-1} < \alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$ berlaku :

$$\alpha = a_0 \exp [h\nu / E_0] \quad (2-6)$$

dengan E_0 karakteristik slope dan berada pada rentang 0,05 sampai 0,08 eV. Persamaan (2-6) dikenal sebagai persamaan *ujung urbach*. Sedangkan daerah transisi G-T merupakan serapan lemah sulit ditentukan formulanya karena dapat mewakili transisi optik yang bervariasi.

Dalam menentukan koefisien absorpsi (α) perlu

mengetahui bagaian ($I = I_0 - I_R$) dari intensitas radiasi elektromagnet I_0 yang masuk dalam sampel. Hal ini berarti bahwa reflektifitas dapat ditentukan. Jika pelipatan refleksi pada kedua permukaan sampel dapat ditentukan dan diasumsikan mendekati kejadian normal, maka

Absorbsivitas $A = I_A/I_0$, Reflektivitas $R = I_R/I_0$ dan Transmittansi $T = I_T/I_0$ sehingga dapat dihubungkan sebagai berikut⁽⁵⁾ :

$$R = r + \frac{(1 - r)^2 r e^{-2\alpha d}}{1 + r^2 e^{-2\alpha d}} \quad (2-7)$$

$$T = \frac{(1 - r)^2 e^{-2\alpha d}}{1 - r^2 e^{-2\alpha d}} \quad (2-8)$$

$$A = (1 - r) \frac{1 - e^{-\alpha d}}{1 + r e^{-\alpha d}} \quad (2-9)$$

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} = 4\pi k \bar{\nu} \quad (2-10)$$

dengan :

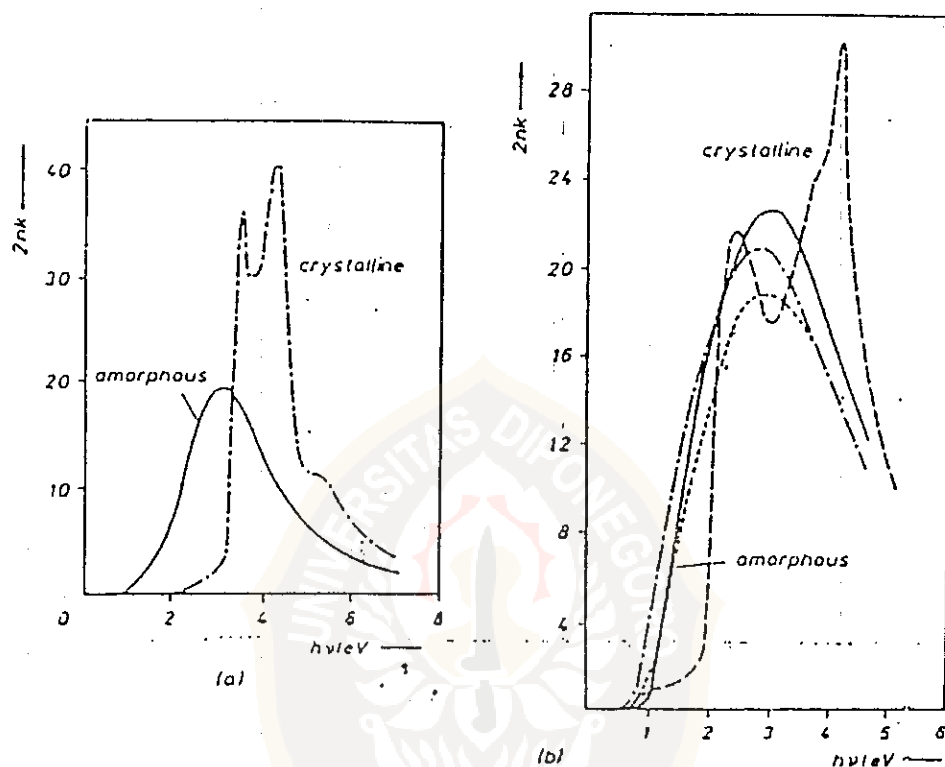
r = reflektifitas dalam sebuah refleksi tunggal

k = konstanta absorpsi

d = tebal sampel.

Stuke dan Connel menunjukkan kurva spektra koefisien absorpsi dari fungsi panjang gelombang dengan energi

foton untuk Silikon dan Germanium amorf seperti ditunjukkan pada gambar 2-8.



Gambar (2-8) : Spektra absorpsi elektronik dari⁵

a. a-Si dan c-Si

b. a-Ge dan c-Ge

(—) pada $T=298$ K, (---) $T=623$ K

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa perbedaan spektra dari elemen kristal tidak selamanya ditemukan dalam amorf. Hal ini ditunjukkan dari identitas didalam

daerah maksimum pertama dari spektrum kristal, yang mempunyai harga sama untuk Germanium amorf tetapi berbeda untuk Silikon amorf.

Pada struktur amorf dari Silikon dan Germanium selain punya sifat mengabsorpsi juga punya sifat refleksi dalam spektra elektriknya. Sinar-sinar yang di absorpsi biasanya sinar pada panjang gelombang tampak dan tepi sinar infra merah.⁽⁵⁾

2.7. Anil

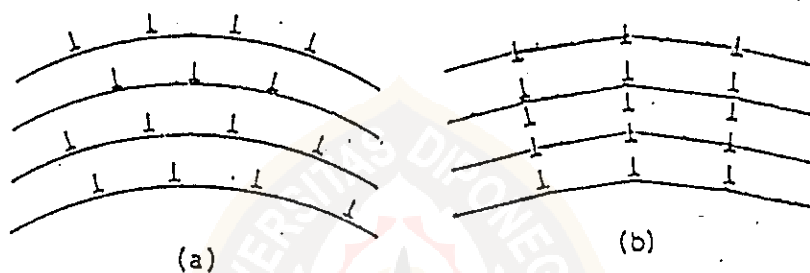
Proses anil merupakan perlakuan panas dimana bahan mengalami pemanasan yang agak lama disusun dengan pendinginan perlahan-lahan. Dalam proses anil terjadi tiga proses yaitu; pemulihan, rekristalisasi dan penumbuhan butir.

2.7.1. Pemulihan

Proses pemulihan menggambarkan proses perubahan yang terjadi pada distribusi rapat cacat, yang berkaitan dengan sifat fisik dan mekanik yang dialami kristal yang telah terdeformasi sebelum terjadi rekristalisasi atau orientasi.

Salah satu yang terpenting dari proses pemulihan ini adalah penyusunan kembali dislokasi menjadi dinding sel. Pada gambar (2-8) a dislokasi dengan tanda yang sama menyebar diri membentuk batas butir sudut kecil atau sub batas butiran. Selama deformasi sebagian daerah kisi

melengkung. Dan kelengkungan tersebut karena pembentukan dislokasi sisi berlebihan yang sejajar dengan sumbu perlengkungan. Pada saat pemanasan, dislokasi menyusun sub-batas dengan peniadaan dan penyusunan kembali seperti terlihat pada gambar (2-8) b. Disini jelas bahwa dislokasi berlebihan dengan tanda yang sama, yang tertinggal setelah proses peniadaan, penyusunan dan membentuk dinding.



Gambar (2-9) : a. Susunan acak dari dislokasi sisi sejajar. b. Penyebarisan dislokasi membentuk dinding.

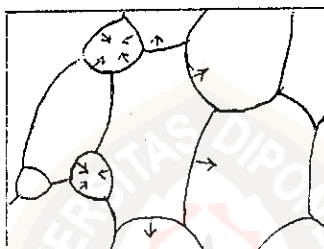
2.7.2. Rekrystalisasi

Proses ini merupakan pertumbuhan kristal baru yang telah mengalami deformasi. Getaran termal kisi yang lebih besar pada suhu tinggi memungkinkan terjadi pengaturan kembali atom-atom dan membentuk butiran yang lebih sempurna.

Proses rekrystalisasi tergantung pada suhu dan waktu. Pendekatan kasar menyatakan suhu rekrystalisasi berada diantara $0,3 T_m$ sampai $0,6 T_m$.⁽⁸⁾

2.7.3. Pertumbuhan Butir

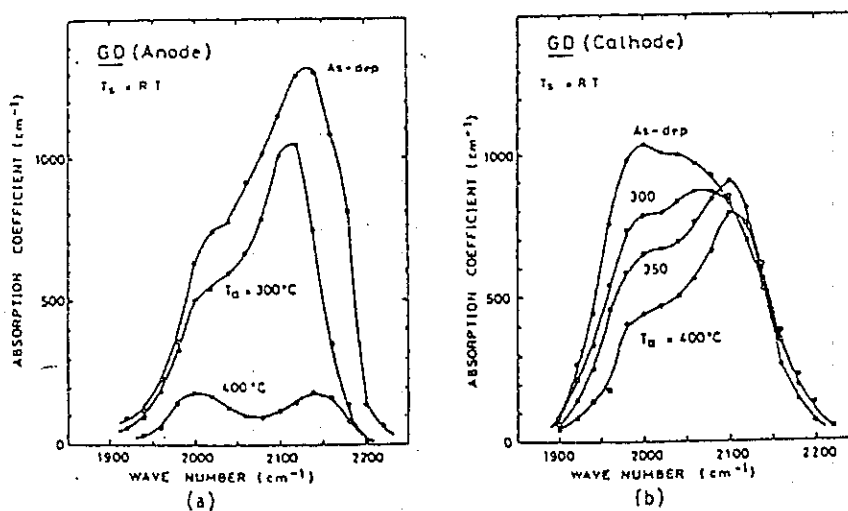
Bila anil berlangsung dengan baik, maka batas butir menjadi lurus, butir yang kecil menyusut dan yang lebih besar tumbuh, gejala ini disebut dengan pertumbuhan butir. Laju pertumbuhan tergantung pada suhu. Kenaikan suhu berakibat meningkatkan energi getaran termal, yang kemudian mempercepat difusi atom melalui batas butir, dari butiran kecil menuju yang lebih besar.⁽⁸⁾



Gambar (2-10) : Pertumbuhan butir⁸⁾

2.8. Pengaruh Anil

K. Tanaka. et. al. mempelajari pengaruh anil pada lapisan tipis a-Si:H dengan spektrum absorpsi infra merah yang keduanya dideposisi dengan glow-discharge Ar-SiH₄ dan dengan metode sputtering Ar-H₂. Gambar (2-10) memperlihatkan pengaruh suhu anil pada daerah absorpsi.³



Gambar (2-11) : Efek anil a. lapisan GD-anoda³
b. lapisan GD-katoda

