

PENGARUH PENAMBAHAN HIDROGEN TERHADAP SIFAT OPTIK DAN SIFAT ELEKTRIK SILIKON AMORF

Wirjoadi, Bambang Siswanto, Yunanto, Sudjatmoko
Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN HIDROGEN TERHADAP SIFAT OPTIK DAN SIFAT ELEKTRIK SILIKON AMORF. Dalam makalah ini dilaporkan hasil penelitian tentang pengaruh penambahan hidrogen terhadap sifat optik dan sifat elektrik silikon amorf. Untuk tujuan tersebut, telah dilakukan deposisi lapisan tipis silikon amorf terhidrogenasi di atas substrat kaca pada kondisi tekanan $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$ Torr, suhu substrat 250; 275; 300 °C, waktu deposisi 1; 1,5; 2 jam, dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %, 15 % dan 20 %. Proses deposisi lapisan dilakukan dengan menggunakan peralatan sputtering dc, sedangkan karakterisasi sifat-sifat optik menggunakan spektrometer UV-vis dan sifat-sifat elektrik dengan metode I-V. Hasil lapisan tipis silikon amorf terhidrogenasi yang dideposisikan selama 1,5 jam, pada kondisi tekanan $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$ Torr diperoleh nilai transmitansi berturut-turut (18-38) %; (25-41) % dan (32-42) % sedangkan untuk kondisi suhu 250; 275; 300 °C, diperoleh nilai transmitansi berturut-turut (34-42) %; (44-48) % dan (46-50) %. Transmitansi ini diukur pada panjang gelombang (600-900) nm. Hasil sifat elektrik (resistansi) optimum sebesar $R_{(gelap)} = 5.255 M\Omega$ dan $R_{(terang)} = 3.719 M\Omega$ dicapai, pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, suhu substrat 300 °C, waktu deposisi 1,5 jam, dan perbandingan gas (H_2/Ar) = 10 %.

ABSTRACT

EFFECT OF THE HYDROGEN ADDITION ON THE ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS SILICON. Effect of the hydrogen addition on the electrical and optical properties of amorphous silicon have been investigated and reported in this paper. For the purpose, it has been deposited a hydrogenated amorphous silicon thin film on glass substrate, at pressure $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$ Torr, substrate temperature 250; 275; 300 °C, deposition time 1; 1,5; 2 hours and for various ratio of (H_2/Ar) = 10 %, 15 % and 20 %. The deposition process has been carried using dc sputtering technique, while the optical properties of hydrogenated amorphous silicon thin film has been characterized using UV-vis Spectrometry and electrical properties with (I-V) metode. It was found that the transmittance of the thin film deposited for 1,5 hours, at pressure $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$ Torr, were (18 - 38) %; (25 - 41) % and (32 - 42) % at substrate temperature 250; 275; 300 °C, were (34 - 42) %; (44-48) % and (46-50) % respectively. These transmittance was measured at wave length (600-900) nm. The optimum electrical properties (resistance) in order of $R_{(dark)} = 5.255 M\Omega$ and $R_{(bright)} = 3.719 M\Omega$ was achieved, at pressure $3,7 \times 10^{-1}$ Torr, substrate temperature 300 °C, deposition time 1,5 hours and various ratio of (H_2/Ar) = 10 %.

PENDAHULUAN

Lapisan tipis silikon amorf saat ini telah menjadi perhatian banyak para peneliti karena biaya pembuatannya jauh lebih murah apabila dibandingkan dengan lapisan tipis silikon kristal. Lapisan tipis silikon amorf telah diketahui dan dapat dibuat sebelum tahun 1969, akan tetapi bahan lapisan tersebut belum dapat dimanfaatkan secara maksimal sebagai piranti elektronik. Pada tahun 1970 R.C. Chittick dkk berhasil membuat silikon amorf dan Germanium amorf menggunakan metode lucutan pijar (*glow discharge*). Berdasarkan metode tersebut Spear dan Lecomber dari Inggris melaporkan bahwa elektron valensi tipe p dan tipe n dalam silikon amorf tersebut dapat dikontrol. Pengontrolan

tipe p atau tipe n dilakukan dengan cara penambahan sejumlah kecil bahan dopan seperti fosfor atau boron ke dalam silikon amorf.^(1,2)

Pengontrolan valensi semikonduktor telah membuka jalan untuk pemanfaatan bahan tersebut untuk piranti-piranti elektronik, terutama untuk piranti lapisan tipis *photovoltaic*, karena piranti *photovoltaic* seperti sel surya ini membutuhkan luasan aktif yang sangat besar untuk pengumpulan energi surya. Dalam hal ini bahan amorf mempunyai keuntungan yang sangat besar dalam pembuatan piranti sel surya yang mempunyai luasan besar dan seragam. Oleh karena itu apabila silikon amorf dapat dimanfaatkan sebagai piranti sel surya, maka biaya fabrikasi dapat ditekan serendah mungkin jika dibandingkan sel surya berbahan silikon kristal.⁽³⁾

Silikon amorf dapat dihasilkan dengan beberapa metode antara lain metode lucutan pijar, evaporasi hampa atau metode sputtering. Dengan metode tersebut tidak hanya konduktivitas tipe p atau tipe n yang dapat dikontrol, tetapi juga rapat pembawa muatannya. Tetapi pembuatan lapisan tipis dengan metode tersebut akan menghasilkan banyak sekali tangan-tangan kosong (*dangling bond*) dalam jaringan silikon amorf. Tangan-tangan kosong tersebut menghasilkan keadaan celah terlokalisasi antar pita valensi dan pita konduksi. Keadaan terlokalisasi ini akan bertindak sebagai pusat rekombinasi pasangan elektron dan *hole*, kemudian pembawa muatan segera berkombinasi setelah pembentukannya oleh serapan foto, sehingga dalam bahan tersebut tidak menunjukkan sifat konduktivitas atau konduktansi listriknya sangat jelek. Untuk mengisi tangan-tangan kosong dilakukan hidrogenasi dengan menambahkan gas reaktif hidrogen pada proses sputtering. Dengan hidrogenasi ini akan mengurangi keadaan terlokalisasi pada celah pita terlarang. Sebagai akibatnya tingkat energi fermi akan tergeser oleh doping fosfor atau boron ke arah pita valensi atau pita konduksi sehingga valensi silikon amorf dapat dikontrol. Dalam penelitian ini tujuan utamanya adalah karakterisasi sifat optik lapisan tipis silikon amorf terhadap penambahan unsur hidrogen untuk bahan sel surya. Untuk mendapatkan lapisan tipis yang optimum telah dilakukan variasi parameter sputtering yaitu penambahan gas (H_2/Ar), suhu substrat, tekanan gas, dan waktu deposisi. Dengan diperolehnya bahan-bahan tersebut, maka diharapkan akan dihasilkan lapisan tipis silikon amorf untuk sel surya yang jauh lebih murah bila dibandingkan dengan sel surya silikon kristal.⁽⁴⁾

Dalam penelitian ini telah dilakukan karakterisasi sifat optik dan sifat elektrik lapisan tipis silikon amorf terhadap penambahan unsur hidrogen pada substrat gelas dengan metode *sputtering*. Untuk mendapatkan lapisan tipis silikon yang optimum telah dilakukan variasi parameter *sputtering* yaitu perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %; 15 %; 20%, suhu 250; 275, 300 °C, tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$ torr dan waktu deposisi 1; 1,5 dan 2 jam. Berdasarkan perhitungan dan analisa data dari pengukuran karakterisasi sifat optik, maka untuk variasi suhu substrat 250; 275; 300 °C; pada tekanan $3,7 \times 10^{-1}$ torr, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %, maka diperoleh hasil nilai transmitansi (34-42) %; (44-48) % dan (46-50) %. Untuk variasi tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$ torr, pada kondisi suhu substrat 300 °C, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %, maka hasil nilai transmitansi berturut-turut (18-38) %; (25-41) %; (32-42) %.

Pengukuran sifat optik (transmitansi) dari hasil lapisan tipis ini, pada posisi panjang gelombang (600-900) nm. Metode yang dipakai untuk karakterisasi sifat optik lapisan tipis adalah dengan peralatan spektrofotometer UV-vis.⁽⁵⁾

Untuk mengetahui sifat elektrik lapisan, dihitung nilai resistansinya dengan metode I-V. Metode (I-V) ini adalah menggunakan *probe* dua titik yang prinsip kerjanya tidak jauh berbeda dengan *probe* empat titik. Hasil perhitungan nilai resistansi lapisan tipis untuk perbandingan gas (H_2/Ar) 10 % diperoleh nilai $R_{(gelap)} = 5.255 M\Omega$; $R_{(terang)} = 3.719 M\Omega$, perbandingan gas (H_2/Ar) 15 % diperoleh nilai $R_{(gelap)} = 6.035 M\Omega$; $R_{(terang)} = 4.224 M\Omega$, dan campuran gas (H_2/Ar) 20 % diperoleh nilai $R_{(gelap)} = 7.285 M\Omega$; $R_{(terang)} = 5.265 M\Omega$, pada suhu substrat 300 °C, tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr dan lama waktu deposisi 1,5 jam

Difraksi sinar-X adalah pola difraksi dari suatu benda uji dan salah satu teknik analisa untuk penentuan ukuran sel satuan kristal (struktur kristal). Dalam proses deposisi lapisan tipis, ada beberapa parameter penting dalam deposisi *sputtering* yang mempengaruhi mekanisme pertumbuhan kristal, struktur mikro atau morfologi permukaan (bentuk lapisan dan geometri struktur kristal atau amorf dalam lapisan) dan susunan atau pola difraksi. Dalam penelitian ini hasil pengukuran yang diperoleh dari difraksi sinar-X (XRD) yang berupa difraktogram menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terdeposisi tersebut adalah *amorf*.

TATA KERJA

Dalam penelitian ini tahapan yang telah dilakukan untuk eksperimen meliputi persiapan bahan cuplikan untuk substrat, pembuatan target Si, persiapan peralatan untuk penelitian, pelaksanaan penelitian, pendeposisian lapisan tipis silikon amorf pada substrat kaca, karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) dengan peralatan spektrometer UV-vis, karakterisasi sifat-sifat elektrik (resistansi) dengan metode pengukuran (I-V), dan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis silikon amorf dengan difraksi sinar-X (XRD).

Persiapan Penelitian

1. Persiapan Bahan

Bahan utama yang disiapkan dalam penelitian ini yaitu pembuatan bahan target serbuk silikon, kemudian dibuat dalam bentuk pelet. Sebelum dilakukan pembuatan pelet dengan pengepresan,

serbuk Si dicampur sedikit Alkohol, kemudian diaduk-aduk dulu supaya kedua campuran bahan tersebut bisa merata atau homogen. Kemudian dibuat pelet untuk target Si berbentuk lempeng bundar berdiameter 60 mm, tebal 2 mm dan dilakukan dengan tekanan pengepresan 200 N. Setelah terbentuk target Si yang sudah di pres selanjutnya dipanaskan pada suhu 1500 °C, selama 1jam. Sedangkan bahan pendukung penelitian lainnya yang harus disiapkan terdiri dari gas Argon, Hidrogen dan bahan kaca preparat yang digunakan sebagai substrat.

2. Persiapan Peralatan Penelitian

a. Reaktor Plasma

1. Tabung reaktor dari stainless steel yang dilengkapi dengan sebuah jendela kaca.
2. Pemegang target dan pemegang substrat.
3. Catu daya arus searah.
4. Alat ukur arus, tegangan dan vakum.
5. Pompa vakum (rotari dan difusi).
6. Pendingin target
7. Pemanas substrat

b. Alat-alat karakterisasi

1. Karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) dengan peralatan UV-vis.
2. Karakterisasi sifat-sifat elektik (resistansi), pengukuran dengan metode I-V.
3. Karakterisasi struktur kristal dengan peralatan XRD (Difraksi Sinar X).

Pelaksanaan Penelitian

1. Pembuatan Substrat

Substrat untuk cuplikan dibuat dari bahan gelas preparat yang dipotong dengan ukuran 10 mm × 20 mm. Substrat tersebut dicuci dengan deterjen menggunakan ultrasonic cleaner. Kemudian dicuci lagi dengan alkohol juga dengan *ultrasonic cleaner*. Setelah bersih, substrat dibersihkan dengan tissue, dikeringkan dengan pemanas, kemudian dibersihkan lagi dengan acetone, selanjutnya dimasukkan dalam pembungkus plastik klip.

2. Pembuatan Lapisan Tipis Silikon Amorf

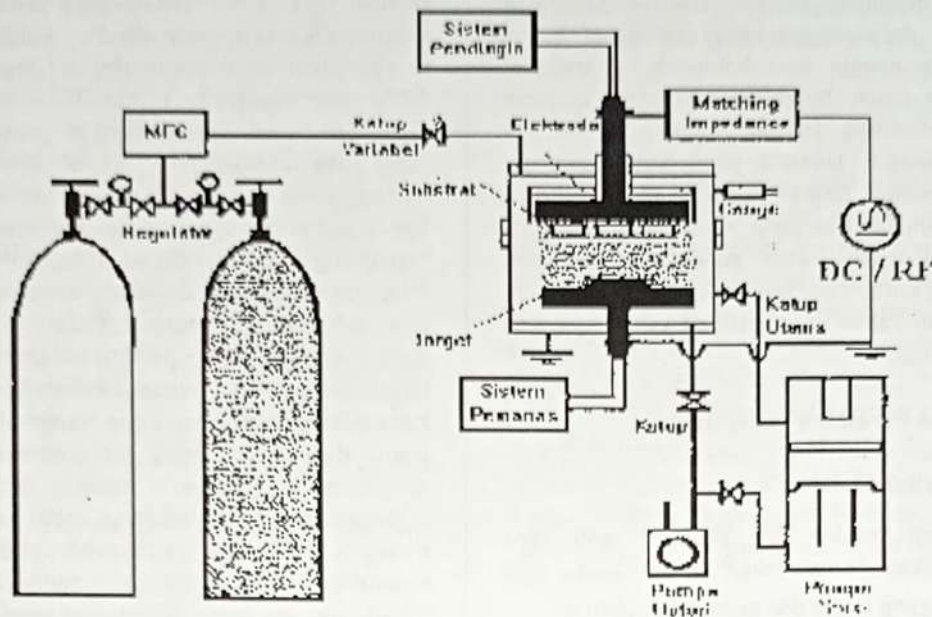
Pembuatan lapisan tipis silikon amorf terhidrogenasi, dilakukan dengan metode *sputtering* DC dan sistem peralatannya ditampilkan pada

Gambar 1. Target silikon dipasang pada katode dan substrat diletakkan pada anode. Udara di dalam tabung reaktor divakumkan dengan pompa rotari dan difusi yang tekanannya sekitar 10^{-5} torr yang dapat digunakan untuk membersihkan partikel-partikel yang tidak dikehendaki. Setelah beberapa menit pompa vakum difusi dimatikan, kemudian gas argon dan hidrogen dialirkan melalui kran dengan variasi perbandingan gas (H_2/Ar) : 10%; 15% dan 20% sehingga tekanan gas di dalam tabung reaktor akan naik menjadi 10^{-1} torr. Pada bagian katoda didinginkan dengan air pendingin supaya suhu pada target tidak naik karena tertumbuk ion argon. Kemudian pada bagian anoda (tempat substrat) ini justru dipanaskan untuk memperbesar frekuensi getaran atom substrat. Apabila penyedia daya tegangan tinggi DC dihidupkan, maka gas argon dan hidrogen yang ada pada celah elektroda akan terionisasi. Ion argon akan menumbuki target Silikon dan ion argon akan bersenyawa dengan ion Silikon dan menumbuk substrat. Lapisan tipis yang terdepositasi pada permukaan substrat kaca tergantung pada perbandingan gas (H_2/Ar), suhu substrat, tekanan gas dan waktu sputtering. Pada proses deposisi lapisan tipis silikon ini, jarak anode dengan katode sekitar 2 cm beda tegangan anode-katode sekitar 2 kV, sedangkan parameter sputtering yaitu perbandingan gas (H_2/Ar), suhu substrat, tekanan gas dan waktu deposisi sputtering, dilakukan sebagai berikut:

- a. Pendeposisian lapisan tipis dilakukan dengan menggunakan target Silikon.
- b. Perbandingan gas (H_2/Ar) : (10 %; 15 % dan 20 %)
- c. Suhu substrat : (250; 275 dan 300) °C, tekanan gas : ($3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$; $5,7 \times 10^{-1}$) torr, waktu deposisi : (1; 1,5 dan 2) jam, tegangan = 2 kV, arus = 30 mA.
- d. Pendeposisian lapisan dilakukan pada tegangan DC yang tetap = 2 kV.

3. Karakterisasi

Untuk pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis silikon amorf terhadap penambahan unsur hidrogen pada substrat kaca dilakukan dengan menggunakan peralatan Spektrofotometer UV-vis. Kemudian pengukuran karakterisasi sifat-sifat elektrik (resistansi) hasil lapisan tipis dengan menggunakan metode (I-V). Pengamatan spektrum struktur kristal dilakukan dengan peralatan Difraksi Sinar-X (XRD).

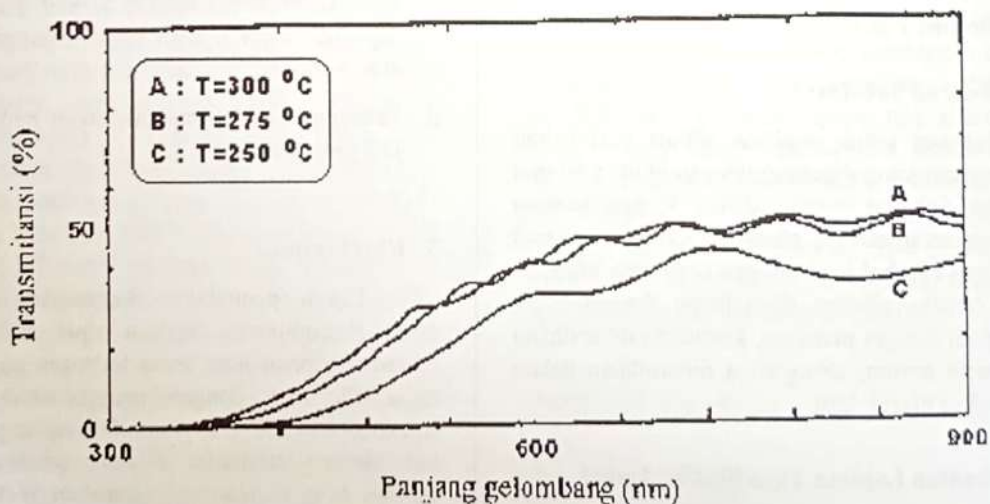


Gambar 1. Peralatan Sistem Sputtering.

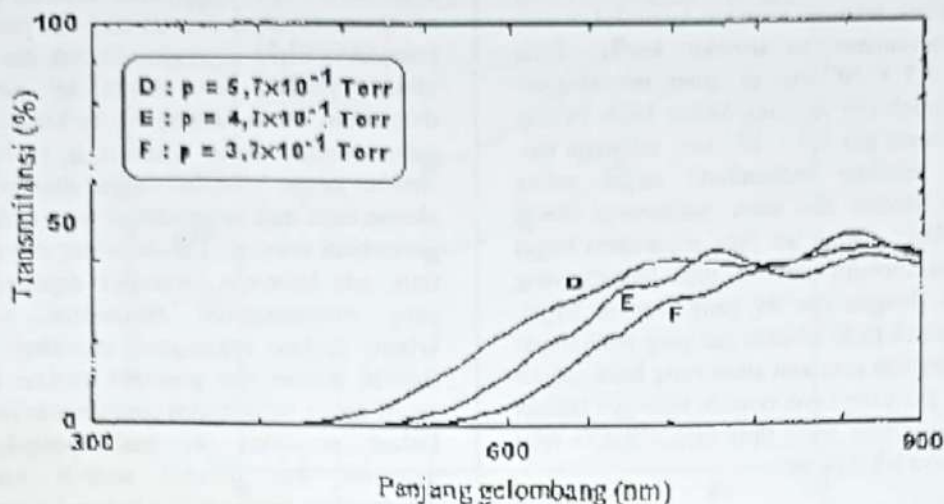
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik (transmitansi) lapisan tipis silikon amorf telah dilakukan dengan menggunakan peralatan spektrofotometer UV-vis yaitu berbentuk spektrum garis yang menunjukkan hubungan transmitansi dengan panjang gelombang. Untuk variasi suhu substrat 250, 275 dan 300 °C, pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) : 10%, diperoleh hasil nilai transmitansi

berturut-turut (34 - 42) %, (44 - 48) % dan (46 - 50) %; dengan posisi panjang gelombang (600 - 900) nm seperti ditampilkan pada Gambar 2. Kemudian untuk lapisan tipis silikon amorf variasi tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$ dan $5,7 \times 10^{-1}$ Torr, pada suhu substrat 300 °C, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) : 10 %, maka diperoleh hasil nilai transmitansi berturut-turut (18 - 38) %; (25 - 41) %; dan, (32 - 42) % dengan posisi panjang gelombang (600 - 900) nm seperti ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Transmitansi lapisan tipis silikon amorf untuk variasi suhu substrat, tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %, pada posisi panjang gelombang (600 - 900) nm.



Gambar 3. Transmittansi lapisan tipis silikon amorf untuk variasi tekanan, suhu 300 °C, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %, pada posisi panjang gelombang (600 - 900).

Penampilan hasil sifat-sifat optik lapisan tipis silikon amorf terhadap variasi suhu substrat diukur dengan peralatan spektrofotometer UV-vis menunjukkan hubungan grafik transmittansi sebagai fungsi panjang gelombang. Pada Gambar 2 menunjukkan hubungan transmittansi dengan panjang gelombang bahwa kurva C, B dan A adalah kurva untuk suhu substrat berturut-turut 250, 275 dan 300 °C. Hasil nilai transmittansi untuk suhu substrat 250, 275 dan 300 °C berturut-turut diperoleh (34-42)%, (44-48)% dan (46-50)%; pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10%. Pengukuran transmittansi tersebut dihitung pada posisi panjang gelombang (600-900) nm. Meningkatnya suhu substrat mengakibatkan getaran kisi termal atom-atom pada lapisan tipis semakin besar ketika proses deposisi sputtering berlangsung. Getaran termal kisi yang lebih besar pada suhu tinggi memungkinkan atom-atom terpercik yang terdeposisi pada permukaan substrat menjadi lebih rapi dan teratur. Kenaikan suhu substrat yang berakibat meningkatnya energi getaran termal tersebut ikut mempercepat difusi atom melalui batas butir, dari butir kecil ke butir yang lebih besar. Dengan demikian semakin tinggi suhu substrat, distribusi pada rapat cacat pada lapisan tipis semakin bertambah dan kerapatan lapisan semakin renggang. Jika kerapatan lapisan semakin renggang, maka transmittansinya akan naik. Pendeposisian silikon amorf pada permukaan substrat kaca di dopan oleh sejumlah atom-atom hidrogen ke dalam sistem vakum dapat memperbaiki sifat material silikon amorf. Untuk penentuan konsentrasi

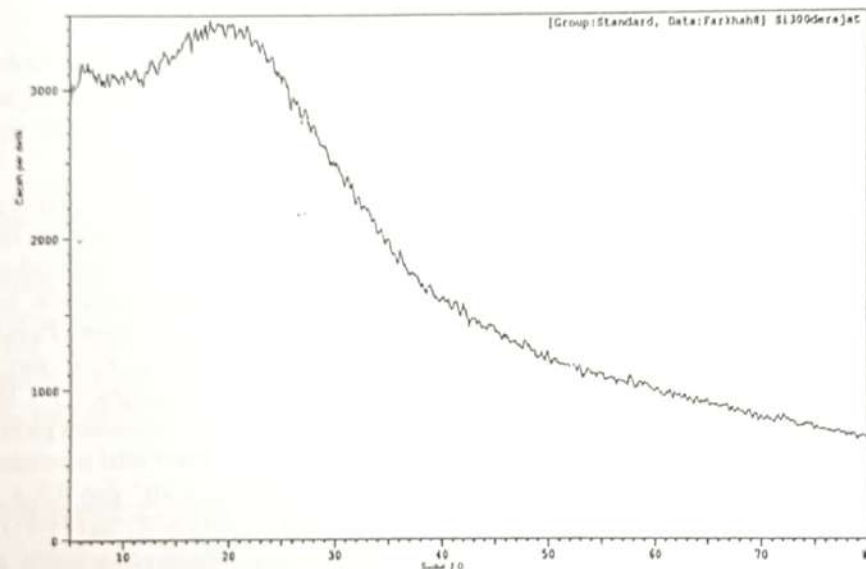
yang tepat sejumlah hidrogen ke dalam silikon amorf adalah suatu hal yang sangat penting untuk mendapatkan kualitas lapisan tipis (a-Si:H) yang baik.

Penampilan hasil sifat optik lapisan tipis silikon amorf terhadap variasi tekanan gas diukur dengan peralatan spektrofotometer UV-vis menunjukkan hubungan grafik antara transmittansi dengan panjang gelombang. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kurva F, E dan D adalah kurva tekanan gas berturut-turut $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$ dan $5,7 \times 10^{-1}$ torr yang optimum pada perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %. Hasil nilai transmittansi untuk tekanan $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$ dan $5,7 \times 10^{-1}$ torr berturut-turut diperoleh (18-38) %; (25-41) %, dan (32-42) % pada suhu 300 °C dan waktu deposisi 1,5 jam. Pengukuran transmittansi tersebut dihitung pada posisi panjang gelombang (600-900) nm. Nilai transmittansi lapisan tipis tergantung dari ketebalan lapisan deposisinya yaitu semakin tebal lapisan tipis, maka nilai transmittansinya akan semakin kecil karena cahaya yang lewat semakin sulit melewati lapisan tersebut. Sedangkan ketebalan lapisan tipis tergantung dari energi ion Argon yang menumbuki target, waktu deposisi, tekanan gas dan jarak elektroda. Energi ion tergantung dari tegangan elektroda dan jarak antara dua elektroda. Semakin tinggi energi ion yang dihasilkan, maka akan semakin banyak atom-atom target yang terlepas. Waktu deposisi juga mempengaruhi banyaknya atom-atom yang terdeposisi pada permukaan substrat. Pada Gambar 3 terlihat bahwa untuk tekanan gas semakin besar $5,7 \times 10^{-1}$ torr menghasil-

kan nilai transmitansi yang semakin besar, sedangkan untuk tekanan semakin kecil $3,7 \times 10^{-1}$ torr nilai transmitansinya semakin kecil. Pada tekanan gas $5,7 \times 10^{-1}$ torr di dalam tabung *sputtering dc*, jumlah ion Ar yang keluar lebih banyak dari pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, sehingga ion-ion Argon sebelum menumbuki target saling bertumbukan sendiri, dan akan mengurangi energi ion Ar tersebut. Demikian juga atom-atom target yang terlepas menuju substrat juga banyak yang bertumbukan dengan ion Ar yang menuju target. Dengan demikian pada tekanan gas yang lebih tinggi akan menghasilkan percikan atom yang lebih sedikit dari tekanan gas yang lebih rendah, sehingga lapisan tipis yang dihasilkan lebih tipis menyebabkan nilai transmitansinya lebih besar.

Difraksi sinar-X adalah pola difraksi dari suatu benda uji dan salah satu teknik analisa untuk penentuan ukuran sel satuan kristal (struktur kristal). Kemudian dari pola difraksi, intensitas hamburan

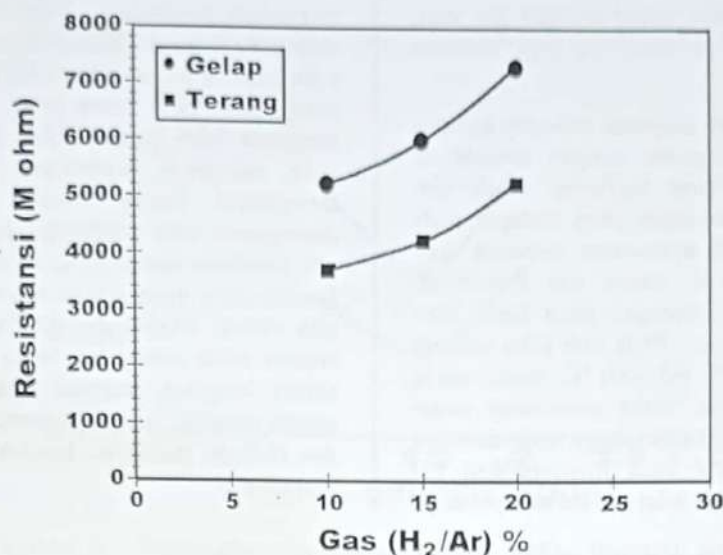
suatu atom dapat menentukan susunan atom dalam sel satuan (struktur kristal) dan dari posisi puncak-puncaknya dapat ditentukan bentuk dan ukuran sel satuan. Bentuk dan ukuran sel satuan dapat dinyatakan dalam panjang sumbu kristal a , b , c dan sudut diantara sumbu kristal α , β , γ . Pola difraksi tersebut sangat berkaitan dengan struktur mikro atau ukuran butir dari target silikon yang terdeposit pada permukaan substrat. Dalam proses deposisi lapisan tipis, ada beberapa parameter deposisi sputtering yang mempengaruhi mekanisme pertumbuhan kristal, struktur mikro atau morfologi permukaan (bentuk lapisan dan geometri struktur kristal atau amorf dalam lapisan) dan susunan atau pola difraksi. Dalam penelitian ini hasil pengukuran yang diperoleh dari difraksi sinar-X yang berupa difraktogram menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terdepositasi tersebut adalah *amorf* seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X lapisan tipis silikon amorf pada tekanan $3,7 \times 10^{-1}$ torr, suhu substrat 300°C , waktu deposisi 1,5 jam, perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %.

Proses deposisi lapisan tipis silikon amorf terhadap penambahan unsur hidrogen pada substrat kaca untuk variasi perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %; 15 %; 20 % pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, suhu substrat 300°C dan waktu deposisi 1,5 jam telah dilakukan, kemudian untuk mengetahui sifat listrik dari lapisan, dihitung nilai resistansinya dengan metode I-V. Metode (I-V) ini adalah menggunakan probe dua titik yang prinsip kerjanya tidak jauh berbeda dengan probe empat titik. Perhitungan nilai

resistansi lapisan untuk perbandingan gas (H_2/Ar) 10 % diperoleh nilai $R_{(\text{gelap})} = 5.255 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{terang})} = 3.719 \text{ M}\Omega$, perbandingan gas (H_2/Ar) 15 % diperoleh nilai $R_{(\text{gelap})} = 6.035 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{terang})} = 4.224 \text{ M}\Omega$, perbandingan gas (H_2/Ar) 20 % diperoleh nilai $R_{(\text{gelap})} = 7.285 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{terang})} = 5.265 \text{ M}\Omega$. Data hasil perhitungan nilai resistansi tersebut diatas, kemudian dibuat grafik hubungan antara resistansi dengan perbandingan gas (H_2/Ar) yang disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan resistansi dengan perbandingan gas (H₂/Ar), pada suhu 300 °C, tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr dan waktu deposisi 1,5 jam.

Atom-atom target terpercik karena tertembak oleh ion-ion dari gas argon yang bergerak dengan kecepatan tinggi diantara dua elektrode dalam sistem vakum, kemudian atom-atom target menumbuk dan menekan atom-atom permukaan substrat kaca menuju tempat interstisi atau kekosongan pada batas butir. Dalam proses pembentukan lapisan ini juga dialiri gas hidrogen, maka atom-atom hidrogen dapat mengisi ikatan-ikatan kosong (*dangling bond*) pada silikon amorf, sehingga terbentuklah lapisan tipis silikon amorf terhadap penambahan hidrogen. Pembentukan ikatan atom-atom hidrogen dapat terjadi sebelum atau sesudah terbentuk lapisan. Sebagian gas hidrogen dimungkinkan terionisasi bersama-sama dengan gas argon. Ion-ion hidrogen kemudian bergerak menuju target selanjutnya menumbuk target silikon dan membentuk suatu ikatan. Atom hidrogen yang telah terikat silikon tersebut kemudian terpercik akibat *dibombardir* oleh ion-ion argon menuju substrat. Kemudian sebagian gas hidrogen yang tidak terionisasi akan bereaksi dengan silikon terpercik pada saat pembentukan lapisan. Besarnya energi ion-ion penembak sangat dipengaruhi oleh tegangan dc yang digunakan. Semakin tinggi tegangan dc yang dioperasikan maka energi ion-ion penembak akan semakin besar. Disamping dipengaruhi tegangan dc, ion-ion argon dipengaruhi oleh jarak elektrode yang digunakan. Jika jarak katode dan anode diperkecil, maka akan menyebabkan semakin banyak jumlah atom target yang dapat mencapai permukaan substrat, tetapi jika jarak katode dan anode diperbesar maka atom-atom

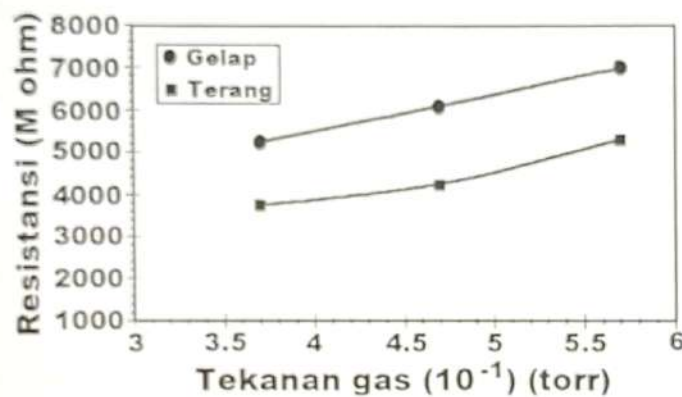
terpercik yang berenergi rendah tidak mampu menembus permukaan substrat. Untuk memfokuskan ion-ion argon agar dapat membombardir target dengan tepat, maka diberikan medan magnet disekitar tabung plasma sebesar 170 gauss. Semakin besar penambahan unsur hidrogen dari gas hidrogen dalam campuran gas (H₂/Ar), maka ion-ion argon dari gas argon yang menumbuk atom-atom target menjadi berkurang sehingga lapisan tipis yang terdeposisi pada substrat kaca juga semakin sedikit dan nilai resistansinya semakin besar karena lapisan yang menempel berkurang.

Untuk mengetahui sifat-sifat listrik lapisan tipis yaitu setelah mengukur resistansi dengan metode I-V. Pengukuran nilai resistansi ini dilakukan pada ruang terang dan ruang gelap. Untuk pengukuran nilai resistansi lapisan pada ruang terang digunakan cahaya matahari yang intensitasnya 100 mW/cm², sedangkan pada ruang gelap tidak dengan cahaya yaitu dimasukkan dalam kotak hitam. Hubungan pengaruh tekanan terhadap resistansi pada suhu 300 °C, waktu deposisi 1,5 jam ditampilkan pada gambar 6. Berdasarkan dari grafik yang ditampilkan diatas, apabila tekanan gas dalam ruang plasma ditingkatkan, maka ion-ion dari gas argon akan semakin banyak membombardir target dan atom-atom target yang tersputter juga semakin banyak, kemudian atom-atom yang masuk kedalam substrat kaca semakin naik kerapatannya, sehingga akan meningkatkan ketebalan lapisan dan nilai resistansi lapisan tipis juga semakin meningkat.

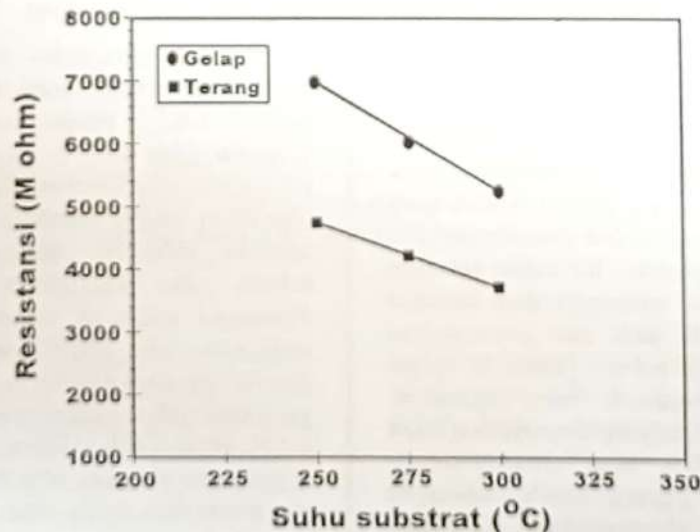
Dengan demikian semakin tinggi tekanan gas yang diberikan, maka nilai resistansinya juga semakin besar.

Suhu substrat juga berperan terhadap kualitas lapisan tipis yang dideposisi dengan metode dc sputtering. Suhu substrat berfungsi untuk meregangkan susunan atom-atom yang terdapat pada substrat kaca, sehingga atom-atom terpercik dari target akan lebih mudah masuk dan menempati posisi interstisi atau kekosongan pada batas butir untuk membentuk lapisan. Pada saat suhu substrat dinaikkan dari suhu (250 s/d 300) °C, mobilitasnya juga semakin meningkat, maka atom-atom target yang tersputter akan berdifusi hingga atom-atomnya masuk kedalam substrat kaca menyebabkan keapatannya naik, sehingga nilai resistansi lapisannya

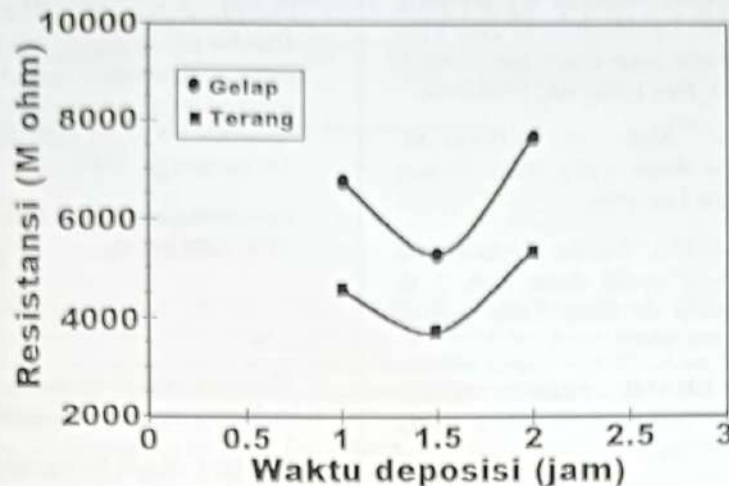
mengalami penurunan. Nilai resistansi pada ruang terang baik untuk variasi tekanan maupun variasi suhu substrat hasilnya lebih kecil dari nilai resistansi yang diukur pada ruang gelap. Hal ini akibat dari pengaruh foton yang berasal dari cahaya matahari yang mengenai permukaan lapisan tipis yang mempunyai ikatan kovalen. Resistansi listrik dipengaruhi oleh banyaknya jumlah elektron pada pita konduksi dan lowong (*hole*) pada pita valensi. Daerah yang memisahkan antara pita konduksi dan pita valensi disebut dengan celah energi. Dengan adanya celah energi ini, maka foton dapat diserap secara langsung maupun tidak langsung melalui proses generasi, sehingga menyebabkan bertambahnya elektron pada pita konduksi dan lowong pada pita valensi.



Gambar 6. Hubungan resistansi dengan tekanan gas, pada suhu substrat 300 °C, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H₂/Ar) 10 %.



Gambar 7. Hubungan resistansi dengan suhu substrat, pada tekanan gas 3,7 × 10⁻¹ torr, waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H₂/Ar) 10 %.



Gambar 8. Hubungan resistansi dengan waktu deposisi, pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, suhu substrat 300°C dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %.

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai resistansi berturut-turut $R_{(\text{gelap})} = 6.769 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{gelap})} = 5.255 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{gelap})} = 7.669 \text{ M}\Omega$ dan $R_{(\text{terang})} = 4.543 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{terang})} = 3.719 \text{ M}\Omega$; $R_{(\text{terang})} = 5.355 \text{ M}\Omega$, untuk waktu deposisi 1; 1,5 dan 2 jam. Apabila waktu deposisi dinaikkan dari 1 s/d 1,5 jam, maka lapisan yang terbentuk akan semakin tebal sehingga akan menurunkan nilai resistansi. Tetapi bila waktu deposisi dinaikkan lagi hingga 2 jam, maka akan terjadi penumpukan lapisan yang terdapat hanya pada permukaan substrat saja (tidak masuk sampai ke dalam) atau terjadi pori-pori (*porous*) pada permukaan substrat sehingga mengakibatkan nilai resistansinya mengalami kenaikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran karakterisasi sifat-sifat optik lapisan tipis silikon amorf terhadap penambahan unsur hidrogen dengan metode sputtering dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Karakterisasi sifat optik lapisan tipis silikon amorf untuk variasi suhu substrat 250 ; 275 ; dan 300°C , pada perbandingan gas (H_2/Ar): 10 %, tekanan $3,7 \times 10^{-1}$ torr dan waktu deposisi 1,5 jam, diperoleh nilai transmitansi berturut-turut (34-42) %; (44-48) % dan (46-50) % ini pada posisi panjang gelombang (600 - 900) nm.
2. Karakterisasi sifat optik lapisan tipis silikon amorf untuk variasi tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$; $4,7 \times 10^{-1}$ dan $5,7 \times 10^{-1}$ torr, pada perbandingan gas (H_2/Ar): 10 %; suhu 300°C dan waktu deposisi

1,5 jam, diperoleh nilai transmitansi berturut-turut (18-38) %; (25-41) %; (32-42) % ini pada posisi panjang gelombang (600 - 900) nm.

3. Karakterisasi struktur kristal lapisan tipis silikon pada substrat kaca, berdasarkan hasil pengukuran dengan difraksi sinar-X yang berupa difraktogram menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terdeposisi tersebut adalah *amorf*.
4. Karakterisasi sifat-sifat elektrik (resistansi) dari lapisan tipis silikon amorf terhadap variasi penambahan unsur hidrogen, optimum pada tekanan gas $3,7 \times 10^{-1}$ torr, suhu substrat 300°C , waktu deposisi 1,5 jam dan perbandingan gas (H_2/Ar) 10 %, diperoleh hasil $R_{(\text{gelap})} = 5.255 \text{ M}\Omega$ dan $R_{(\text{terang})} = 3.719 \text{ M}\Omega$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Bapak Drs. Tjipto Suyitno, MT, APU atas sumbang saran dan diskusi ilmiahnya tentang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. KATSUYA TABUCHI, WILSON W. WENAS, MASAHIRO YOSHINO, A. YAMADA, *Optimization of ZnO Film for Amorphous Silicon Solar Cells*, 11 th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Montreux, Switzerland, 12-16 October 1992.

2. KATSUYA TABUCHI, WILSON W. WENAS, AKIRA YAMADA, *Optimization of ZnO Film for Amorphous Silicon Solar Cells*, Jpn. J. Appl. Phys, Vol, 32, 1993, Part I, No. 9A, 3764-3769.
3. K. TAKAHASHI AND M. KONAGAI, *Amorphous Silicon Solar Cells*, Nort Oxford Academic Publishers Ltd, 1986.
4. MAKOTO KONAGAI, *Device Physics and Optimum Design of (a-Si) Solar Cell*, 5 th "Sunshine" Workshop on Solar Cells, Tokyo, Japan, December 8-9, 1992.
5. TADATSUGU MINAMI, HIDEO SONOHARA, SHINZO TAKATA AND ICHIRO FUKUDA, *Low Temperature Formation of Textured ZnO Transparent Electrodes by Magnetron Sputtering*, J. Vac. Sci. Technol. A 13 (3), May/Jun, 1995.

TANYA JAWA

Widdi Usada

- Mengapa dengan penambahan H_2 ada kecenderungan R-nya naik?
- Apakah hasil sudah mendekati ideal?

Wirjoadi

- Penambahan H_2 menaikkan tahanan karena semakin banyak gas yang masuk tabung sputtering akan mengurangi banyaknya gas Argon, hal ini akan mengurangi rapat ion Argon menumbuki target silicon sehingga ketebalan menurun.
- Hasil ini baru mendekati ideal.

Sri Sulamdari

- Mengapa dipakai sputtering DC bukan RF?
- Perbandingan gas (H_2/Ar) : 10%; 15%; 20% artinya apa?

Wirjoadi

- Dipakai DC sputtering karena DC sputtering juga dapat digunakan untuk sputtering bahan semikonduktor tetapi memakan waktu yang lebih lama karena rapat plasmanya lebih rendah dari RF sputtering.
- Perbandingan 10%, 15%, 20% artinya 10%, 15%, 20% gas H_2 .

Elin N.

- Mengapa pada pengukuran transmitansi dilakukan pada panjang gelombang (600 - 900) nm.
- Mengapa dipilih perbandingan gas (H_2/Ar) 10%, 15% dan 20% dan bagaimana pengaruh terhadap hasil nilai transmitansi dan R (mana yang paling baik).

Wirjoadi

- Pada pengukuran transmitansi dilakukan pada panjang gelombang (600 - 900) nm karena daerah panjang gelombang tersebut adalah daerah visible.
- Dipilih perbandingan gas (H_2/Ar) 10%, 15% dan 20%, karena dengan perbandingan gas (H_2/Ar) tersebut diperkirakan sudah cukup, apabila gas H_2 diperbesar lagi nanti dalam proses penumbuhan ion Argon akan terganggu sehingga hasilnya menjadi tidak baik. Mengenai pengaruhnya terhadap hasil transmitansi dan R yang paling baik adalah pada perbandingan gas (H_2/Ar) 10%.

Suryadi

- Mengapa suhu substrat perlu divariasi.

Wirjoadi

- Suhu substrat perlu divariasi karena suhu substrat mempengaruhi vibrasi atom substrat. Dengan memvariasi suhu substrat maka akan diperoleh perekatan atom target pada substrat yang akhirnya akan mempengaruhi ketebalan lapisan tipis.