

Pengaruh Optis Kontak Belakang terhadap Parameter Optis Lapisan a-Si:H

Ismail* dan Eddy Yahya

Jurusan Fisika-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 61111

Intisari

Lapisan a-Si:H dideposisikan dalam substrat *corning gelas eagle* XG di PECVD dengan parameter deposisi: temperatur substrat 270°C, tekanan 530 mTorr, laju aliran silan SiH₄ 20 sccm, aliran hidrogen 70 sccm dalam waktu 30 menit, diperoleh ketebalan lapisan sekitar 437,2 nm. Kontak belakang Al, Ag, Al/Ag dideposit dalam evaporator MVSystem dengan tekanan vakum 5,0.10⁻⁶ torr, sekitar (5 - 10) detik. Plot grafik menggunakan pengukuran data transmisi dari sampel dengan monokromator pada panjang gelombang 400-750 nm pada kisaran 10 nm dalam temperatur kamar 28,5°C. Sampel diukur dengan mengkondisikan sudut datang dan sudut bias mendekati normal ($\theta_i \approx \theta_r \approx 0$). Peningkatan faktor optis m a-Si:H/Al=1,563 - 1,635, m a-Si:H/Ag = 1,584 - 1,616, dan m a-Si:H/Al/Ag = 2,932 - 3,016. Pengaruh kontak belakang $f(R_B)$ a-Si:H/Al = 1,1531 - 1,1581, $f(R_B)$ a-Si:H/Ag = 1,1552 - 1,1603, $f(R_B)$ a-Si:H/Al/Ag = 1,1573 - 1,1625. Pengumpulan muatan model optis QE a-Si:H/Al = 0,8361 - 0,8723, QE a-Si:H/Ag = 0,8362 - 0,8739, QE a-Si:H/Al/Ag = 0,8387 - 0,8755.

KATA KUNCI: pengaruh kontak belakang, faktor peningkatan optis, lapisan a-Si:H.

I. LATAR BELAKANG

Lapisan aktif silikon terhidrogenasi a-Si:H, belakangan ini menjadi yang paling intensif dipelajari dalam semikonduktor. Sel surya berbahan silikon amorf relatif murah dibandingkan dengan sel surya silikon kristal, namun memiliki efisiensi yang rendah. Berbagai metode digunakan untuk meningkatkan efisiensinya, salah satunya dengan mengoptimalkan kontak belakang sebagai reflektor cahaya. Lapisan p dan n juga terjadi generasi hole-elektron seperti pada lapisan a-Si:H, namun pada lapisan p dan n proses tersebut relatif kecil sehingga tidak memberikan pengaruh pada pengumpulan muatan dan bisa diabaikan. Sel surya a-Si:H p-i-n mempunyai efisiensi yang rendah dan relatif lebih murah bila dibandingkan dengan sel surya c-Si. Struktur sel surya silikon amorf a-Si:H p-i-n bergantung oleh absorpsi cahaya oleh lapisan a-Si:H yang merupakan lapisan aktif.

Pada lapisan a-Si:H, foton cahaya yang terabsorpsi akan digunakan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Kontak belakang yang didepositkan berfungsi secara optis sebagai reflektor yang akan merefleksikan cahaya, sehingga cahaya yang terabsorpsi oleh lapisan aktif a-Si:H meningkat. Kontak belakang dengan Al yang pada umumnya digunakan akan terjadi pertumbuhan alumina Al₂O₃ secara alami untuk selang waktu tertentu sehingga menurunkan efisiensi kerja sel [1]. Karakterisasi secara optis untuk mengetahui pengaruh optis $f(R_B)$ dari kontak belakang terhadap penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H, serta efisiensi pengumpulan muatan secara optis (*efisiensi quantum QE*) kontak belakang Al, Ag, dan Al/Ag. terhadap fak-



Gambar 1: PECVD Multichamber MVSystem.

tor peningkatan optis m dikarakterisasi dengan menggunakan monokromator dan detektor thorlabs.

II. EKSPERIMEN

Lapisan a-Si:H dideposisi pada substrat *corning glass eagle* XG dengan ukuran (10 x 10) cm² ketebalan 1,1 mm, menggunakan PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition*) pada chamber PL3, dengan parameter deposisi laju silan 20 sccm, tekanan 530 mTorr, temperatur 270°C, dan laju hidrogen 70 sccm. Sistem PECVD multichamber MVSYS-TEM diperlihatkan pada Gambar 1.

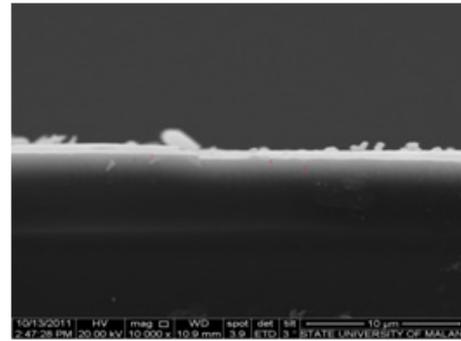
Metalisasi adalah pemberian lapisan logam pada bagian belakang lapisan a-Si:H yang berperan sebagai kontak listrik dan reflektor cahaya. Lapisan logam yang dipergunakan adalah aluminium, perak dan aluminium:perak, ditumbuhkan melalui teknik evaporasi, menggunakan evaporator MVSystem (Gambar 2).

Kontak belakang hasil metalisasi berukuran (1 x 1) cm² dan

*E-MAIL: ismail@gmail.com



Gambar 2: Evaporator MVSystem.



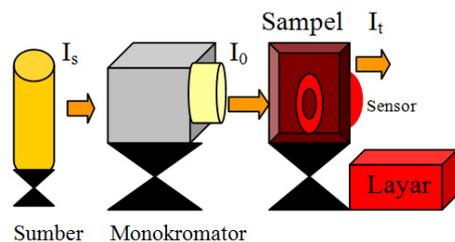
Gambar 5: Penampang silang lapisan Al/Ag, a-Si:H dan Ag dengan SEM.



Gambar 3: Hasil deposisi dan metalisasi permukaan lapisan a-Si:H.

(0,5 x 0,5) cm² [2]. Hasil deposisi lapisan a-Si:H di PECVD dan metalisasi di evaporator diperlihatkan pada Gambar 3.

Sampel dikarakterisasi dengan menggunakan sistem monokromator pada panjang gelombang 400-750 nm. Skema karakterisasi dengan seperangkat monokromator terlihat pada Gambar 4. Detektor diletakkan di depan dan belakang sampel yang terhubung dengan layar detektor. Jarak antara sumber cahaya lampu 100 W dengan objek 9 cm. Intensitas cahaya datang yang melalui monokromator terukur sebagai intensitas cahaya datang I_0 , dan intensitas cahaya sesudah mengenai sampel terukur sebagai intensitas cahaya transmisi I_t .



Gambar 4: Pengukuran parameter optis lapisan a-Si:H.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Indeks bias S , dari transmisi *corning glass eagle XG T_S*, diperoleh dari metode *swanepoel* [3]:

$$S = \frac{1}{T_S} + \sqrt{1 - \frac{1}{T_S^2}} \quad (1)$$

diperoleh indeks bias berkisar 1,3461 pada panjang gelombang 400 nm hingga 1,5156 pada panjang gelombang 530 nm, sedangkan indeks bias lapisan a-Si:H dihitung berdasarkan:

$$n_i = N_i + \sqrt{N_i^2 - S^2} \quad (2)$$

dengan

$$N_i = 2S \left[\frac{T_M - T_m}{T_M T_m} \right] + \frac{S^2 + 1}{2} \quad (3)$$

dengan T_M, T_m transmisi maksimum-minimum yang terbaca pada detektor Thorlabs tiap panjang gelombang, diperoleh indeks bias a-Si:H berkisar 3,071 pada panjang gelombang 440 nm hingga 4,97 pada panjang gelombang 560 nm. Ketebalan lapisan a-Si:H dan kontak belakang diukur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) [4], seperti yang diperlihatkan Gambar 5. Ketebalan lapisan a-Si:H sekitar 437,2 nm, sedangkan ketebalan lapisan kontak belakang Al dan Ag 349,7 nm dan metal Al:Ag 612 nm.

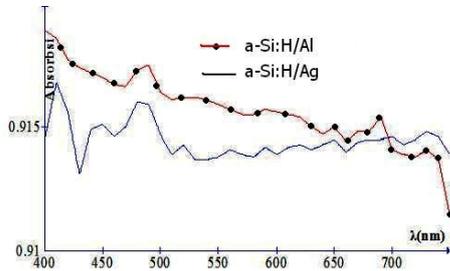
Ketebalan lapisan a-Si:H dapat pula dihitung dengan menggunakan [5]:

$$d = \frac{\lambda_M \lambda_m}{2(m\lambda_M - \lambda_m n_M)} \quad (4)$$

dengan d ketebalan lapisan, λ_M, λ_m panjang gelombang maksimum, minimum pada n_M, n_m indeks bias a-Si:H oleh transmisi minimum maksimum. Variasi ketebalan pada daerah panjang gelombang tertentu terlihat pada Tabel I, yang diperoleh ketebalan lapisan a-Si:H sekitar 431,045 nm. Kontak belakang menyebabkan meningkatnya penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H, seperti yang diperlihatkan Gambar 6 dan 7.

TABEL I: Ketebalan lapisan a-Si:H pada variasi panjang gelombang

λ	d a-Si:H(nm)
510-650	$d_1 = 245,61$
650-750	$d_2 = 846,075$
490-750	$d_3 = 201,45$
\bar{d}	$= 431,045$



Gambar 6: Penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H /Al: dan a-Si:H /Ag.

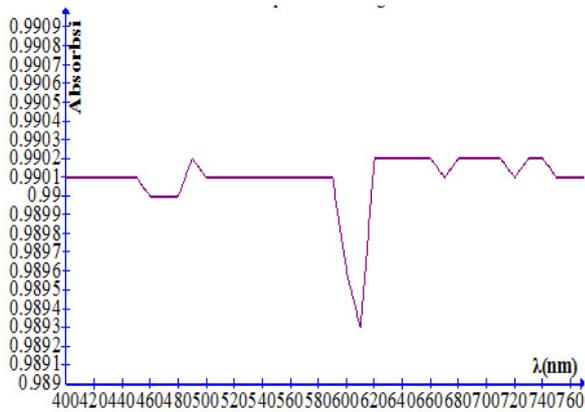
Penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H dan Al berkisar 0,9131 - 0,9168, kecenderungan stabil setelah panjang gelombang 500 nm, sedangkan penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H dan Ag berkisar 0,9114 - 0,9189, yang terus menurun dengan kenaikan panjang gelombang.

Penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H dan Al/Ag berkisar 0,9893 - 0,99, terjadi penurunan penyerapan pada panjang gelombang 590 - 610 nm. Energi gap diperoleh dengan menarik linear kurva kelengkungan dari energi tinggi ke energi rendah melalui persamaan [6]:

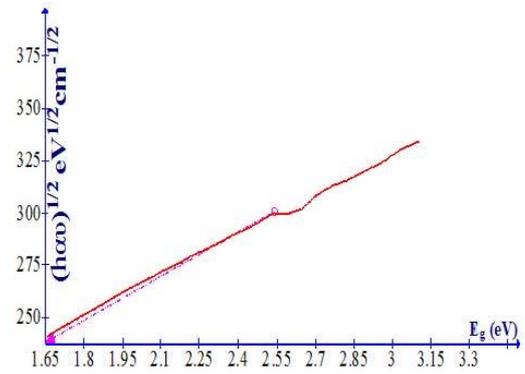
$$\sqrt{h\alpha\nu} = B (h\nu - E_{op}) \tag{5}$$

dan Gambar 8 memperlihatkan E_{op} sekitar 1,65 eV.

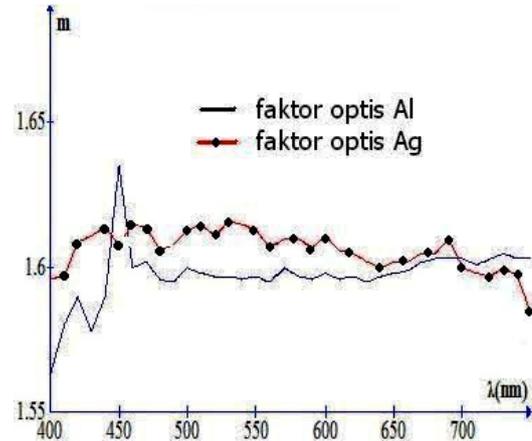
Cahaya yang berasal dari lapisan a-Si:H sebagian akan diteruskan ke kontak belakang dan sebagian direfleksikan kembali ke lapisan a-Si:H, sehingga pada umumnya cahaya akan menempuh jarak 2 kali dari jarak yang ditempuh cahaya di lapisan a-Si:H tanpa kontak belakang akibat dari faktor peningkatan optis. Peningkatan faktor optis m merupakan jarak



Gambar 7: Penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H /Al:Ag.



Gambar 8: Diagram bandgap lapisan a-Si:H



Gambar 9: Peningkatan faktor optis a-Si:H /Al: dan a-Si:H /Ag.

rata-rata yang dilalui tiap panjang gelombang sebelum diserap lapisan a-Si:H [7]. Faktor peningkatan optis ditentukan dari transmisi lapisan a-Si:H dengan kontak belakang T, koefisien absorpsi α dan x tebal lapisan a-Si:H sesuai persamaan:

$$- \ln T = m \alpha x \tag{6}$$

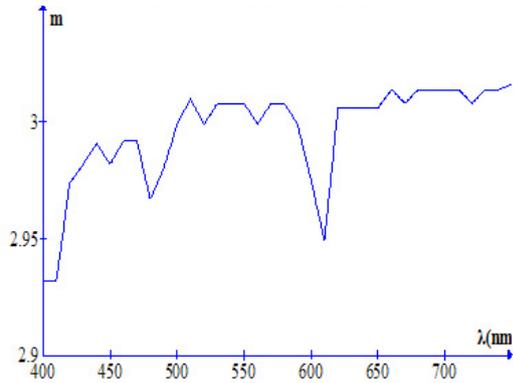
Faktor peningkatan optis oleh lapisan a-Si:H/Al berkisar 1,563 - 1,635, peningkatan faktor optis lapisan a-Si:H oleh Ag berkisar antara 1,584 - 1,616. Lapisan a-Si:H/Al cenderung menyerap panjang gelombang (450 - 750) nm, sedangkan Lapisan a-Si:H/Ag cenderung menurun pada panjang gelombang (450 - 750) nm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.

Faktor peningkatan optis oleh lapisan a-Si:H/Al:Ag berkisar antara 2,932 - 3,016, terjadi penurunan penyerapan pada panjang gelombang (600 - 610) nm terlihat pada Gambar 10.

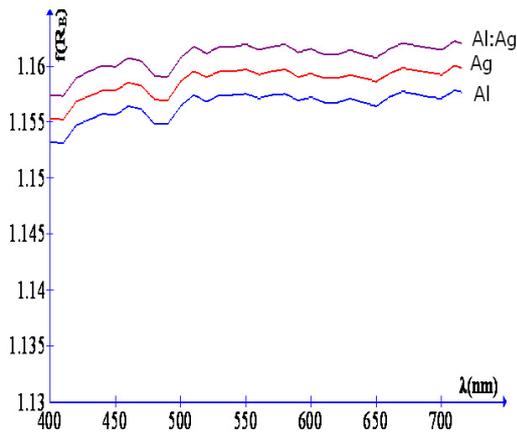
Pengaruh kontak belakang pada penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H dinyatakan dengan persamaan:

$$f(R_B) = R_B(1 - A_i) \tag{7}$$

dengan A_i adalah absorpsi lapisan a-Si:H dan R_B adalah faktor refleksi antar permukaan lapisan a-Si:H dan kontak belakang yang berkisar antara 0,2-1 yang didapatkan dari struktur kontak belakang sebagai reflektor [8]. Nilai R_B kontak



Gambar 10: Peningkatan faktor optis a-Si:H / Al:Ag.



Gambar 11: Pengaruh kontak belakang Al, Ag, Al:Ag.

belakang yang didepositkan pada lapisan a-Si:H adalah R_B Al = 0,73, R_B Ag = 0,74 dan R_B Al:Ag = 0,75. Pengaruh optis kontak belakang Al berkisar 1,1531 - 1,1581, pengaruh optis kontak belakang Ag berkisar 1,1552 - 1,1603, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11, sedangkan faktor pengaruh optis kontak belakang Al/Ag berkisar 1,1573 - 1,1625. Pengaruh optis ketiga kontak belakang cenderung stabil setelah panjang gelombang 500 nm.

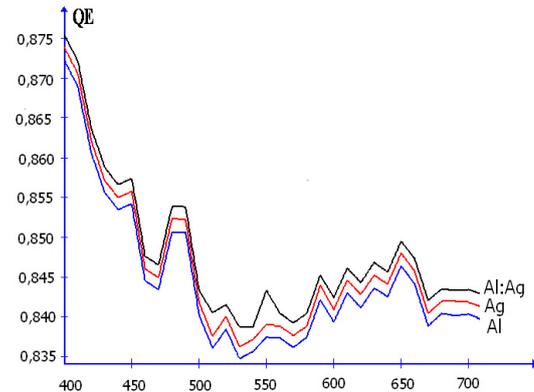
Meskipun peningkatan faktor optis dengan kontak belakang Al:Ag dua kali lebih besar dibandingkan dengan kontak belakang Al ataupun Ag, namun pengaruh optisnya tidak berbeda jauh dengan pengaruh optis yang disebabkan oleh kontak belakang Al ataupun Ag, hal ini disebabkan cahaya yang direfleksikan oleh sisi belakang metal Al:Ag tidak seluruhnya mencapai lapisan a-Si:H, sebagian akan terserap pada batas logam Al dan Ag, paling tidak lapisan Ag ini akan mencegah tumbuhnya alumina pada Al.

Efisiensi pengumpulan muatan QE merupakan perbandingan foton yang berinteraksi dengan elektron dan foton yang

diserap oleh lapisan a-Si:H, dengan menggunakan model optis, pengumpul muatan ditentukan oleh persamaan:

$$QE(\lambda) = T_t A_i [1 + f(R_B)] \tag{8}$$

dengan T_t transmisi cahaya dari *corning glass eagle XG*.



Gambar 12: Pengumpulan muatan kontak belakang Al, Ag, Al:Ag.

Gambar 12 memperlihatkan nilai pengumpulan muatan QE lapisan a-Si:H pada ketiga kontak belakang. Pengumpul muatan oleh kontak belakang Al berkisar 0,8361 - 0,8723, dengan kontak belakang Ag berkisar 0,8362 - 0,8739, dan kontak belakang Al:Ag berkisar 0,8387 - 0,8755.

Untuk ketiga lapisan metal (Al, Ag, Al:Ag) terdapat penurunan yang tajam pada panjang gelombang (400 - 540) nm, dan perlahan meningkat pada panjang gelombang (540 - 650) nm, yang kemudian perlahan turun pada panjang gelombang (650 - 750) nm. Nampak terlihat bahwa efisiensi pengumpul muatan pada kontak belakang Al:Ag relatif lebih besar dibandingkan dengan kontak belakang pada Al ataupun Ag, walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan.

IV. SIMPULAN

Pengaruh kontak belakang sebagai faktor peningkatan optis, dengan ditandai meningkatnya penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H. Faktor peningkatan optis merupakan jarak rata-rata cahaya sebelum diserap oleh lapisan a-Si:H, terjadi karena cahaya terefleksi oleh kontak belakang. Faktor peningkatan optis dengan kontak belakang Al:Ag sekitar 2,932 - 3,016 dengan penyerapan cahaya berkisar 0,9893 - 0,99. Pengaruh kontak belakang Al/Ag pada penyerapan cahaya oleh lapisan a-Si:H sekitar 1,1573 - 1,1625. Pengumpul muatan pada kontak belakang Al/Ag sekitar 0,8387 - 0,8755. Lapisan metal Ag yang didepositkan pada metal Al sebagai pencegah tumbuhnya alumina pada Al.

[1] J. Bartl, M. Baranek, *Measurement of Physical Quantities* 4, 31 (2004).

[2] R. Swanepoel, *J. Phys. E: Sci. Instrum*, 16, 1214 (1983).

[3] N.A. Bakr, *et al.*, *PRAMANA-journal of physics Indian*

- Academy of Sciences, **76**, no.3, March (2011).
- [4] C. Hsu, *et al.*, *Nano Res*, **3**, 307 (2010).
- [5] N. Pimpabute, *et al.*, *Optica Applicata*, **XLI**, no.1, 3 (2011).
- [6] B.M. Curtin, *Photonic crystal back-reflectors for light management and enhanced absorption in a-Si:H solar cells*, Thesis M.Sc, Iowa State University Ames, Iowa, 2009.
- [7] K. Takahashi and M. Konagai, *Amorphous silicon solar cell* (Original Japanese language edition, Shokodo Ltd.,Tokyo, 1986).
- [8] A. Luque, and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2011).
- [9] R. Kaplan, and B. Kaplan, *Turk J. Phys. TUBITAK*, **26**, 363 (2000).
- [10] B.W. Lewis, *Silica Nanosphere Textured Back Reflectors for Increased Absorption in Thin Film Amorphous Silicon Solar Cells*, Thesis M.Sc., Iowa State University Ames, Iowa, 2010.