

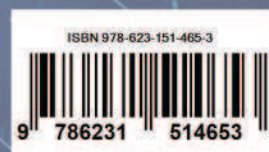
APLIKASI KRISTAL SILIKON DAN MODUL-MODULNYA

Sel surya silikon kristal dan modul telah mendominasi teknologi fotovoltaik (PV) sejak awal. Mereka merupakan lebih dari 85% dari pasar PV saat ini, dan meskipun penurunan mereka dalam mendukung teknologi lain telah diumumkan beberapa kali, mereka mungkin akan mempertahankan peran utama mereka untuk sementara waktu, setidaknya untuk dekade berikutnya.

Salah satu alasan silikon kristal menjadi dominan dalam fotovoltaik adalah fakta bahwa mikroelektronika telah mengembangkan teknologi silikon dengan pesat. Di satu sisi, komunitas PV tidak hanya mendapat manfaat dari akumulasi pengetahuan tetapi juga bahan baku silikon dan peralatan bekas telah diperoleh dengan harga yang wajar. Di sisi lain, Mikroelektronika telah memanfaatkan beberapa inovasi dan perkembangan yang diusulkan dalam Fotovoltaik.



0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362



APLIKASI KRISTAL SILIKON DAN MODUL-MODULNYA

Dr. Soni Prayogi. M.Si



PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

APLIKASI KRISTAL SILIKON DAN MODUL-MODULNYA

Penulis : Dr. Soni Prayogi. M.Si

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Rizki Rose Mardiana

ISBN : 978-623-151-465-3

No. HKI : EC00202377085

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, SEPTEMBER
2023
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021**

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekamediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur hanya bagi Allah SWT yang dengan taufik dan hidayahNYA penulis dapat menyelesaikan penyusunan Buku APLIKASI KRISTAL SILIKON DAN MODUL-MODULNYA ini.

Sel surya silikon kristal dan modul telah mendominasi teknologi fotovoltaik (PV) sejak awal. Mereka merupakan lebih dari 85% dari pasar PV saat ini, dan meskipun penurunan mereka dalam mendukung teknologi lain telah diumumkan beberapa kali, mereka mungkin akan mempertahankan peran utama mereka untuk sementara waktu, setidaknya untuk dekade berikutnya.

Tiada gading yang tak retak, penyusun mohon kritik yang membangun demi perbaikan buku ini dimasa-masa mendatang.

Amin Ya Rabbal' Alamin.

Jakarta, Agustus 2023

Penulis,

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
BAB 2 SILIKON KRISTAL SEBAGAI BAHAN FOTOVOLTAIK.....	4
A. Properti Massal	4
B. Permukaan.....	5
BAB 3 SEL SURYA SILIKON KRISTALIN.....	9
A. Struktur Sel	9
B. Substrat	11
C. Permukaan Depan	16
D. Permukaan Belakang.....	20
E. Ukuran Efek.....	21
F. Optik Sel	23
G. Perbandingan Kerja	27
BAB 4 PROSES MANUKFAKTUR.....	29
A. Alur Proses	29
B. Teknologi Sablon.....	36
C. Throughput dan Hasil.....	42
BAB 5 VARIASI PROSES DASAR.....	44
A. Wafer Tipis	44
B. Pasif Permukaan Belakang.....	45
C. Peningkatan pada Front Emitter	46
D. Proses Termal Cepat.....	47
BAB 6 SEL MULTIKRISTAL.....	49
A. Mendapatkan di Sel Surya Mc.....	49
B. Pasif dengan Hidrogen.....	50
C. Pengurangan Optik	52
BAB 7 PENDEKATAN INDUSTRI LAINNYA.....	57
A. Pita Silikon.....	57
B. Heterojunction dengan Lapisan Tipis Intrinsik.....	58
C. Teknologi Kontak Terkubur.....	59

BAB 8	MODUL FOTOVOLTAIK SILIKON	
	KRISTAL.....	63
	A. Sel Matriks.....	63
	B. Lapisan Modul.....	65
	C. Laminasi dan Pemulihan.....	66
	D. Langkah Pasca Laminasi.....	68
	E. Modul Khusus.....	68
BAB 9	KINERJA LISTRIK DAN OPTIK MODUL	70
	A. Karakteristik dan Termal.....	70
	B. Sebaran Fabrikasi dan Kerugian Ketidak Cocokan.....	73
	C. Shading Lokal dan Formasi Hot Spot.....	74
	D. Sifat Optik.....	78
BAB 10	KINERJA LISTRIK DAN OPTIK MODUL	80
	A. Seumur Hidup.....	80
	B. Kualifikasi.....	81
BAB 11	MATERIAL SILIKON.....	83
	A. Sifat Fisik Silikon yang Relevan dengan Fotovoltaik.....	83
	B. Sifat Kimia yang Relevan dengan Fotovoltaik.....	85
	C. Faktor Kesehatan.....	86
	D. Sejarah dan Aplikasi Silikon.....	87
BAB 12	PRODUKSI SILIKON METALURGI	94
	A. Reduksi Karbotermik Silika.....	94
	B. Penyulingan.....	97
	C. Pengecoran dan Penghancuran.....	100
	D. Ekonomi.....	101
BAB 13	PRODUKSI SILIKON SEMIKONDUKTOR.....	103
	A. Proses Siemens.....	104
	B. Proses Union Carbide.....	109
	C. Proses Ethyl Corporation.....	111
	D. Ekonomi dan Bisnis.....	113
	KESIMPULAN	115
	DAFTAR PUSTAKA	116
	TENTANG PENULIS	125

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Rincian Biaya Fabrikasi Sel Surya Kristal Tunggal (SX) dan Multikristalin (MC) (Sesuai dengan Tahun 1990)	2
Tabel 1. 2	Pangsa Pasar Solar Monokristalin dan Multikristalin Sel.....	2
Tabel 3. 1	Performa Sel (25°C , AM1.5 Global 0.1 W cm^{-2}).....	27
Tabel 6. 1	Perbandingan Reflektivitas Tertimbang AM1.5 untuk wafer mc-Si dengan Beberapa Perlakuan Permukaan	56
Tabel 11. 1	Sifat Termal dan Mekanik Silikon	85
Tabel 11. 2	Karakteristik Kimia Silikon Kelas Metalurgi Komersial.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Struktur kontak: (a) kedua kontak di depan; dan (b) di belakang; (c) kedua wajah dihubungi; dan (d) satu pembawa diekstrak pada kedua muka. Struktur dengan tipe-n dan p yang dipertukarkan juga dimungkinkan	10
Gambar 3. 2	(a) Sel pemancar pasif dan sel terdifusi lokal belakang (PERL); dan (b) sel industri dengan kontak yang dicetak di layar. (Tidak untuk menskalakan)	12
Gambar 3. 3	Struktur emitor yang berbeda: (a) emitor homogen tanpa pasivasi permukaan; (b) emitor homogen dengan pasivasi permukaan; (c) emitor selektif; dan (d) efek emitor lokal	18
Gambar 3. 4	Struktur kontak belakang: (a) BSF menerus; (b) sel bifasial; (c) BSF lokal; (d) BSF lokal, sel bifasial; (e) pasivasi emitor selektif atau floating junction; dan (f) persimpangan pendek di bagian belakang sel industry	22
Gambar 3. 5	Pengaruh tekstur permukaan: (a) penurunan refleksi; dan (b) peningkatan fotogenerasi di pangkalan.....	26
Gambar 4. 1	Urutan Pemrosesan Tipikal dengan Ilustrasi Skema Struktur yang Dihasilkan	30
Gambar 4. 2	(a) Tungku kuarsa; dan (b) tungku sabuk untuk difusi fosfor	32
Gambar 4. 3	Layar untuk Mentransfer Pola Kontak Atas Ke Sel Surya	37
Gambar 4. 4	Ilustrasi Urutan Pencetakan	39
Gambar 4. 5	Jari Kontak yang Dicetak di Layar; Tekstur Piramida juga Terlihat.....	41
Gambar 6. 1	Reaktor PECVD industri: (a) reaktor plasma langsung; dan (b) sistem plasma jarak jauh	52

Gambar 6. 2	Permukaan Mc-Si setelah etsa asam.....	54
Gambar 6. 3	Permukaan Mc-Si setelah RIE.....	55
Gambar 7. 1	Struktur sel HIT.....	59
Gambar 7. 2	Penampang kontak yang terkubur. (Dicitak ulang dengan izin dari BP Solar).....	60
Gambar 7. 3	Proses Sel Surya Terkubur-Grid Beralur Laser	61
Gambar 8. 1	(a) Interkoneksi sel dengan tab; (b) dua sel secara seri; dan (c) tata letak 36 sel yang terhubung seri	64
Gambar 8. 2	Tumpukan Bahan yang Akan Dilaminasi	66
Gambar 8. 3	Penampang Modul Standar	67
Gambar 9. 1	Simulasi komputer dari kurva I -V dari sel yang diarsir 50%, menunjukkan perincian terbalik "lunak" yang khas, dan dari 17 sel identik, tidak diarsir, secara seri. Ketika terhubung seri dengan sel yang diarsir, kurva berlabel "string seri" diperoleh	75
Gambar 9. 2	Simulasi komputer dari kurva I -V dari string seri 36 sel tanpa dan dengan dua dioda bypass, terhubung seperti yang ditunjukkan di bagian bawah gambar, ketika satu sel diarsir 50%. Arus melalui substring yang diarsir dan dioda bypassnya juga ditampilkan.....	77
Gambar 9. 3	Two bypass diodes in a 36-cell module. The connections are done in the junction box.....	78
Gambar 9. 4	Efek optik dari enkapsulasi: (1) pantulan kaca; (2) menjebak reflektansi sel; (3) menjebak transmisi sel; (4) kumpulan cahaya peripheral.....	79
Gambar 12. 1	(a) dan (b) Representasi skematis dari tungku untuk produksi silikon kelas metalurgi.....	98
Gambar 13. 1	Representasi Skematis dari Proses Siemens	105
Gambar 13. 2	Representasi skematis dari reaktor Siemens tradisional.....	106
Gambar 13. 3	Representasi Skematis dari Proses Polisilikon Union Carbide.....	110

Gambar 13. 4 Representasi Skematis dari Reaktor Unggun
Terfluidisasi untuk Produksi Polisilikon..... 113



APLIKASI KRISTAL SILIKON DAN MODUL-MODULNYA

Dr. Soni Prayogi. M.Si



BAB

1

PENDAHULUAN

Sel surya silikon kristal dan modul telah mendominasi teknologi fotovoltaik (PV) sejak awal. Mereka merupakan lebih dari 85% dari pasar PV saat ini, dan meskipun penurunan mereka dalam mendukung teknologi lain telah diumumkan beberapa kali, mereka mungkin akan mempertahankan peran utama mereka untuk sementara waktu, setidaknya untuk dekade berikutnya.

Salah satu alasan silikon kristal menjadi dominan dalam fotovoltaik adalah fakta bahwa mikroelektronika telah mengembangkan teknologi silikon dengan pesat. Di satu sisi, komunitas PV tidak hanya mendapat manfaat dari akumulasi pengetahuan tetapi juga bahan baku silikon dan peralatan bekas telah diperoleh dengan harga yang wajar. Di sisi lain, Mikroelektronika telah memanfaatkan beberapa inovasi dan perkembangan yang diusulkan dalam Fotovoltaik.

Selama beberapa dekade, pasar PV terestrial telah didominasi oleh p-jenis substrat silikon Czochralski. Perbaikan terus-menerus dalam kinerja, hasil, dan keandalan telah memungkinkan pengurangan biaya yang penting dan perluasan pasar PV selanjutnya. Karena biaya yang lebih rendah dari wafer mc-Si, sel silikon multikristalin (MC) muncul pada 1980-an sebagai alternatif untuk kristal tunggal. Namun, kualitasnya yang lebih rendah menghalangi pencapaian efisiensi yang serupa dengan Cz, sehingga angka merit $\$ W^{-1}$ telah cukup mirip untuk kedua teknologi dalam waktu yang lama (lihat Tabel 1.1).

BAB 2

SILIKON KRISTAL SEBAGAI BAHAN FOTOVOLTAIK

A. Properti Massal

Silikon kristal memiliki celah pita tidak langsung yang mendasar $E_G = 1.17$ eV dan celah langsung di atas 3 eV [3] pada suhu sekitar. Karakteristik ini menentukan variasi sifat optik Si dengan panjang gelombang, termasuk koefisien penyerapan yang rendah untuk pembangkitan pembawa untuk foton celah pita dekat [4]. Pada panjang gelombang ultraviolet (UV) pendek dalam spektrum matahari, generasi dua pasangan elektron-lubang oleh satu foton tampaknya mungkin, meskipun secara kuantitatif ini adalah efek kecil [5]; di sisi lain dari spektrum penyerapan bebas pembawa parasit bersaing dengan generasi band-to-band [6]. Konsentrasi intrinsik adalah parameter penting lainnya yang terkait dengan struktur pita; menghubungkan ketidakseimbangan pembawa dengan tegangan [7].

Pada densitas pembawa yang tinggi, yang diinduksi doping atau eksitasi, struktur pita diubah yang mengarah pada peningkatan konsentrasi intrinsik efektif: ini adalah salah satu yang disebut efek doping berat yang menurunkan kualitas PV dari daerah yang sangat didopin [8].

Rekombinasi dalam Si biasanya didominasi oleh rekombinasi pada cacat, dijelaskan dengan masa pakai Shockley-Read-Hall (SRH). Seumur hidup terkait (yang juga dapat dijelaskan dalam hal panjang difusi L) meningkat untuk bahan berkualitas baik. Rekombinasi Auger, sebaliknya, merupakan proses fundamental yang menjadi penting pada konsentrasi

BAB 3

SEL SURYA SILIKON KRISTALIN

A. Struktur Sel

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menemukan efisiensi pembatas dan struktur optimum sel surya a-Si [29]. Semua kerugian yang dapat dihindari diasumsikan ditekan: 1. tidak ada kerugian refleksi dan penyerapan maksimum yang dicapai dengan teknik perangkap cahaya yang ideal, 2. rekombinasi minimum: SRH dan rekombinasi permukaan diasumsikan dapat dihindari dan hanya rekombinasi Auger yang tersisa, 3. kontaknya ideal: tidak ada shading atau kerugian resistansi seri, 4. tidak ada kehilangan transpor dalam substrat: profil pembawa di media datar sehingga rekombinasi seminimal mungkin untuk tegangan yang diberikan.

Sel yang optimal harus menggunakan bahan intrinsik, untuk meminimalkan rekombinasi Auger dan penyerapan pembawa bebas, dan harus sekitar 80- μm tebal, hasil dari trade-off antara penyerapan dan rekombinasi. Itu bisa mencapai efisiensi hampir 29% pada satu matahari AM1.5 Global, 25°C [30]. Kasing ideal ini tidak memberi tahu kami di mana harus meletakkan kontak. Untuk mewujudkan Kondisi 4 yang disebutkan di atas, kontak harus ditempatkan pada bagian yang diterangi atau muka depan, paling dekat dengan fotogenerasi (Gambar 3.1a). Karena kehilangan naungan logam.

BAB

4

PROSES MANUKFAKTUR

A. Alur Proses

Gambar 4.1 menunjukkan langkah-langkah utama dari proses sederhana untuk fabrikasi sel surya berdasarkan sablon. Dengan sedikit modifikasi, proses ini saat ini digunakan oleh banyak pabrikan. Keunggulan utama dari teknologi PV berusia 30 tahun ini adalah otomatisasi yang mudah, keandalan, penggunaan material yang baik, dan hasil yang tinggi. Kekurangannya, seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, adalah penalti efisiensi yang berasal dari teknik metalisasi kasar dan agresif. Beberapa perawatan khusus yang berhasil untuk mc-Si.

Setiap langkah dijelaskan secara singkat dalam teks berikut dengan tujuan ilustrasi: nilai suhu, waktu, dan sebagainya hanya akan bersifat indikatif:

1. Bahan awal: Industri ini menggunakan apa yang disebut wafer Cz-Si tingkat solar, asalnya bulat tetapi sangat sering dipangkas menjadi bentuk persegi semu, atau wafer persegi multikristalin. Dimensi wafer adalah antara 10- dan 15-cm sisi dan antara 200- dan 350- μ ketebalan m. Doping adalah p-type (boron) dengan resistivitas sekitar 1- Ω cm.
2. Penghapusan kerusakan gergaji: Operasi penggergajian meninggalkan permukaan wafer "sebagai potongan" dengan tingkat kerusakan yang tinggi kualitas yang sangat buruk dan cacat dapat menyebabkan fraktur wafer selama pemrosesan [68]. Untuk alasan ini, sekitar sepuluh mikron tergores dari setiap wajah dalam larutan basa atau asam.

BAB 5

VARIASI PROSES DASAR

Bagian ini memperkenalkan beberapa variasi pada proses dasar yang dijelaskan di atas yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, throughput atau biaya. Sementara beberapa modifikasi sudah dalam produksi, sebagian besar perbaikan ini masih dikembangkan di laboratorium

A. Wafer Tipis

Teknik wafer dan pertumbuhan lembaran meningkatkan dan menghasilkan substrat yang lebih tipis, dengan ketebalan wafer di bawah 200 μm sedang dipertimbangkan untuk waktu dekat [78]. Saat memproses sel tipis ini, beberapa masalah yang relevan muncul.

Kemungkinan pecahnya wafer selama penanganan meningkat, terutama dalam hubungannya dengan ukuran yang lebih besar. Alat penanganan yang memadai harus dirancang. Beberapa langkah tampaknya penting: misalnya, dalam rendaman kimia, konveksi dapat mengerahkan torsi yang signifikan pada wafer. Masalah ini mendorong studi tentang sifat mekanik silikon [79, 80] dan bahkan pengembangan prosedur kristalisasi baru.

Perilaku selama perlakuan panas dimodifikasi karena penurunan massa termal. Di sisi lain, wafer bisa lebih mudah bengkok. Proses perlu dioptimalkan secara khusus untuk sel tipis [81]. Sel tipis sangat bergantung pada pasif permukaan dan kurungan optik. Jika mencapai tingkat yang wajar, peningkatan efisiensi datang sebagai bonus untuk sel tipis, tetapi sebaliknya

BAB

6

SEL MULTIKRISTAL

Telah ditunjukkan bahwa kekhasan sel mc dapat mencegah, dalam beberapa kasus, penggunaan teknologi pemrosesan standar. Beberapa alternatif yang diusulkan belum begitu hemat biaya untuk dimasukkan ke dalam lini produksi industri, tetapi yang lain sedang mencari jalan. Dua perbedaan utama dengan silikon kristal tunggal dapat disorot:

- Kualitas bahan Mc lebih buruk karena cacat kristal (seperti batas butir, dislokasi, dll) dan pengotor logam (terlarut atau diendapkan), memberikan masa pakai curah yang lebih rendah dan karenanya efisiensi sel yang lebih rendah. Untuk mengatasi masalah ini, dua strategi utama diikuti: implementasi langkah-langkah gettering dan pasifasi cacat dengan hidrogen.
- Tekstur lebih sulit karena bidang kristalografi yang berbeda, sehingga larutan alkali standar tidak sesuai. Untuk meningkatkan penjebakan dan penyerapan cahaya, teknik lain harus diterapkan.

A. Mendapatkan di Sel Surya Mc

Seperti yang telah dijelaskan, proses pengambilan juga digunakan dalam pemrosesan Si monokristalin, tetapi dalam kasus mc-Si, proses tersebut bahkan lebih penting untuk meningkatkan kualitas bahan. Langkah-langkah pengambilan P dan Al secara rutin terintegrasi dalam pemrosesan sel surya mc. Kondisi pengambilan (suhu, durasi proses, dll) berbeda dari kristal tunggal, karena interaksi antara pengotor logam, cacat

BAB

7

PENDEKATAN INDUSTRI LAINNYA

Teknologi lain yang tersedia secara komersial akan dijelaskan di bagian ini. Mereka semua mencari penurunan sosok jasa, mengikuti pendekatan yang berbeda:

- Menggunakan pita, sebagai substrat;
- Menerapkan teknik yang tidak memerlukan proses suhu tinggi: HIT, berdasarkan aSi/x-Si heterojunction emitor;
- Mengganti metalisasi sablon dengan teknik yang lebih efisien: LGBG, berdasarkan konsep kontak terkubur;

Ini hanya mencakup sebagian kecil dari pasar PV saat ini, tetapi mereka semua memiliki rencana ekspansi besar untuk beberapa tahun ke depan.

A. Pita Silikon

Teknologi pita menawarkan keunggulan biaya dibandingkan silikon kristal, berkat penghapusan proses pengirisan. Saat ini mereka mencakup sekitar 5% dari pasar PV, *Edgedefined-Film-fed Growth* (EFG) menjadi yang paling matang di antara mereka, sementara pita tali (STR) dan web dendritik (WEB) juga menjadi produksi industri.

Proses sel surya khusus diperlukan untuk substrat pita, untuk memperhitungkan kepadatan cacat yang tinggi (dislokasi, batas butir, pengotor, dll). Al paste biasanya dicetak untuk membuat BSF yang dalam dan untuk mendapatkan keuntungan dari gettering, dan silikon nitrida diendapkan oleh PECVD untuk pasivasi cacat massal dan lapisan anti-refleksi.

BAB

8

MODUL FOTOVOLTAIK SILIKON KRISTAL

Kekuatan sel surya tunggal menjadi kecil, beberapa di antaranya harus dihubungkan secara elektrik untuk membuat generator yang praktis. Modul adalah unit bangunan untuk generator yang dapat dibeli di pasar, yaitu produk PV yang sebenarnya. Kinerja dan masa pakai sistem PV bergantung pada perlindungan yang ditawarkan konstruksi modul ke perangkat fotovoltaik aktif.

Prosedur fabrikasi modul dasar yang digunakan oleh sebagian besar produsen dikembangkan tiga dekade lalu dan dijelaskan secara singkat di bawah ini. Modul untuk aplikasi khusus (integrasi bangunan, operasi kelautan, dll) memerlukan sedikit modifikasi proses dan bahan.

A. Sel Matriks

Dalam sebuah modul, sel-sel biasanya disusun secara seri. Setelah sel selesai, pita tembaga kaleng (tab) disolder ke batang bus di bagian depan (Gambar 8.1a). Perlu dicatat bahwa tab harus tumpang tindih dalam jarak yang jauh di sepanjang panjang bus bar karena konduktansi dari bus bar yang dicetak terlalu rendah. Epoxy konduktif dapat menggantikan paduan solder konvensional dan penerangan yang digunakan sebagai pengganti pemanas besi.

BAB 9

KINERJA LISTRIK DAN OPTIK MODUL

A. Karakteristik dan Termal

Tegangan modul, pada prinsipnya, adalah jumlah sel yang terhubung seri dikalikan tegangan sel tunggal, dan arus modul jumlah sel paralel dikalikan arus sel tunggal. Apa pun kombinasinya, kekuatan modul sama dengan kekuatan satu sel dikalikan jumlahnya. Modul yang diproduksi secara massal yang ditawarkan dalam katalog pabrika menunjukkan peringkat daya yang biasanya berkisar antara 50 hingga 200 Wp, dikirimkan pada level arus antara 3 dan 8 A dan pada voltase antara 20 dan 40 V. Nilai yang lebih rendah dan lebih tinggi dimungkinkan untuk aplikasi khusus.

Pabrikasi biasanya memberikan nilai titik perwakilan (hubung singkat, sirkuit terbuka, dan daya maksimum) dari modul. Saya-Vkurva diukur pada kondisi sel standar (STC), yaitu, 1 kW m^2 radiasi ($= 0,1 \text{ W cm}^2$), distribusi spektral AM1.5 dan 25° suhu sel C. Daya maksimum modul di bawah STC disebut daya puncak dan dinyatakan dalam watt puncak (Wp). Sementara efisiensi memiliki kepentingan terbesar untuk sel surya, untuk modul memiliki arti yang kurang relevan karena bagian dari area tersebut tidak ditempati oleh sel surya yang mahal.

Kondisi dalam operasi nyata bukanlah yang standar; sebaliknya, mereka sangat bervariasi dan mempengaruhi kinerja listrik sel, menyebabkan hilangnya efisiensi sehubungan dengan nilai nominal STC. Kerugian ini dapat dibagi menjadi empat kategori utama [132]:

BAB

10

KINERJA LISTRIK DAN OPTIK MODUL

A. Seumur Hidup

Masa pakai yang lama diklaim sebagai salah satu keunggulan utama PV dan beberapa produsen saat ini menawarkan garansi selama lebih dari 20 tahun, dengan masa pakai 30 tahun menjadi tujuan pengembangan jangka pendek. Ini berarti bahwa untuk jangka waktu ini modul akan tetap bekerja, yaitu menghasilkan tenaga listrik dengan efisiensi yang sama dengan efisiensi awal dan tanpa kerusakan yang membahayakan keselamatan atau tampilan visual. Dua faktor menentukan masa pakai: keandalan, yang mengacu pada kegagalan prematur produk, dan daya tahan, yang hadir untuk memperlambat degradasi yang pada akhirnya menurunkan produksi ke tingkat yang tidak dapat diterima. Efektivitas biaya, keseimbangan pengembalian energi, dan penerimaan publik terhadap energi fotovoltaik sangat bergantung pada keandalan dan masa pakai modul yang lama.

Sistem PV di seluruh dunia telah bekerja selama lebih dari 20 tahun, dan ini memungkinkan kami untuk mengumpulkan informasi mengenai mekanisme degradasi. Modul di lapangan dikenai beban mekanis statis dan dinamis, siklus termal, paparan radiasi, kelembaban sekitar, dampak hujan es, akumulasi kotoran, naungan parsial, dan sebagainya. Mode kegagalan umum [124, 141] terkait dengan aksi agen cuaca dalam kombinasi dengan kekurangan dalam fabrikasi.

BAB

11

MATERIAL SILIKON

Silikon (Si) adalah anggota kedua dalam Golongan IV-A dalam sistem periodik unsur. Itu tidak pernah terjadi secara bebas di alam, tetapi dalam kombinasi dengan oksigen membentuk oksida dan silikat. Sebagian besar kerak bumi terdiri dari silika dan silikat lain-lain yang terkait dengan aluminium, magnesium, dan elemen lainnya. Silikon membentuk sekitar 26% dari kerak bumi dan merupakan unsur paling melimpah kedua dalam berat, oksigen menjadi yang terbesar.

A. Sifat Fisik Silikon yang Relevan dengan Fotovoltaik

Silikon adalah semikonduktor dengan celah pita Misalnya 1,12 eV pada 25° C. Pada tekanan atmosfer, silikon mengkristal menjadi struktur kubik intan, yang berubah menjadi kisi pusat tubuh ketika dikenai ca 15 GPa. Dalam beberapa keadaan, tumbuh lambat silikon keseimbangan, yaitu, hampir 90% di antaranya 49% (141 MW) adalah sel yang terbuat dari wafer gergajian multikristalin, 31% (90 MW) dari wafer kristal tunggal dan 10% (28 MW) adalah sel berdasarkan berbagai teknologi silikon kristal, misalnya pita (15 MW atau 5,1%), silikon amorf pada irisan silikon kristal tunggal (12 MW atau 4,2%) dan lain-lain (sekitar 1 MW atau 3,5 per seribu).

BAB

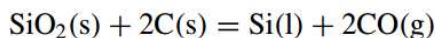
12

PRODUKSI SILIKON METALURGI

A. Reduksi Karbotermik Silika

Silikon kelas metalurgi, juga disebut logam silikon, dengan kemurnian khas 98,5% Si diproduksi di tungku busur listrik terendam. Pada prinsipnya, proses ini hampir sama seperti pada awal abad kedua puluh (XX) ketika pertama kali dikembangkan untuk ferrosilikon dan paduan lainnya. Namun, eksekusi praktis telah meningkat pesat dengan tungku yang lebih besar, penanganan material yang lebih efisien, dan kontrol operasi yang lebih baik. Hal ini telah menyebabkan penurunan konsumsi energi spesifik secara terus menerus seiring dengan tingkat pemanfaatan bahan baku yang lebih tinggi.

Tungku pada dasarnya terdiri dari wadah yang diisi dengan bahan kuarsa dan karbon. Silikon dibebaskan dengan reduksi karbotermik silika menurut reaksi keseluruhan:



Bertentangan dengan apa yang sering diklaim dalam artikel atau ulasan populer, pasir silika saat ini tidak digunakan untuk tujuan ini. Kuarsa kental (misalnya 10-100 mm) dengan kemurnian dan ketahanan termal yang sesuai lebih disukai. Bahan baku karbon umumnya terdiri dari batubara kelas metalurgi serta serpihan kayu dan/atau arang dan kokas. Batubara metalurgi diproduksi bersama dengan batubara yang digunakan untuk produksi baja mentah. Sebagai aturan, batubara ini perlu dicuci untuk menghilangkan sebagian besar abu yang mengandung kotoran yang tidak sesuai.

BAB

13

PRODUKSI SILIKON SEMIKONDUKTOR

Kotoran dalam kisaran ppb(a)-ppt(a) diperlukan untuk polisilikon yang dipasok ke industri semikonduktor. Kemurnian sangat tinggi diperlukan untuk memastikan sifat semikonduktor yang tepat dalam kristal silikon yang tumbuh. Hal ini dicapai pertama dengan pembuatan hidrida silikon yang mudah menguap dan pemurniannya umumnya menggunakan distilasi fraksional. Hal ini diikuti oleh dekomposisi hidrida ini menjadi silikon unsur hipermurni melalui pirolisis reduktif atau deposisi uap kimia. Pembuatan senyawa Si yang mudah menguap melibatkan reaktan eksternal dan dekomposisinya menghasilkan produk sampingan, yang perlu didaur ulang. Oleh karena itu, berbagai rute polisilikon harus mengontrol empat langkah berturut-turut. Semua memiliki dampak yang kuat pada kelayakan dan keekonomisan keseluruhan produk polisilikon yang sesuai:

- Persiapan/sintesis hidrida silikon yang mudah menguap.
- Pemurnian.
- Dekomposisi menjadi unsur silikon.
- Daur ulang produk sampingan.

Banyak proses untuk menghasilkan polisilikon telah diuji, dipatenkan, dan beberapa dioperasikan bertahun-tahun. Hanya tiga proses komersial besar yang saat ini aktif:

- Proses yang paling populer didasarkan pada dekomposisi termal triklorosilan pada 1100°C pada batang silikon yang dipanaskan yang ditempatkan di dalam ruang deposisi. Proses yang dikembangkan pada akhir tahun 50-an ini biasa disebut

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hegedus and A. Luque, "Achievements and Challenges of Solar Electricity from Photovoltaics," in Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons, Ltd, 2010, pp. 1-38. doi: 10.1002/9780470974704.ch1.
- [2] "News and Information," Photovolt. <https://photovolt.com/news/> (accessed Nov. 17, 2022).
- [3] I. Rabiul, Turton 1995 Principles of turbomachinery. Accessed: Nov. 17, 2022. [Online]. Available: https://www.academia.edu/37738339/Turton_1995_Principles_of_turbomachinery
- [4] F. Z. Henari and H. Manaa, "Nonlinear Optical Properties, Optical Limiting and Optical Switching of Ag Nanoparticles Prepared by a Green Synthetic Method," Opt. Photonics J., vol. 08, no. 07, pp. 235-246, 2018, doi: 10.4236/opj.2018.87020.
- [5] S. Kolodinski, J. H. Werner, and H.-J. Queisser, "Potential of Si_{1-x}Ge_x alloys for Auger generation in highly efficient solar cells," Appl. Phys. A, vol. 61, no. 5, pp. 535-539, Nov. 1995, doi: 10.1007/BF01540255.
- [6] L. Zhang and P. Wang, "Analysis on the Change Characteristics of the Correlation between Land Use Structure and Energy Consumption and Carbon Emissions in Kunming from 1997 to 2017," J. Geosci. Environ. Prot., vol. 09, no. 06, pp. 155-166, 2021, doi: 10.4236/gep.2021.96009.
- [7] G. H. Bauer, "Advanced Concepts: Beyond the Shockley-Queisser Limit," in Photovoltaic Solar Energy Conversion, G. H. Bauer, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, pp. 167-200. doi: 10.1007/978-3-662-46684-1_6.
- [8] P. P. Altermatt, A. Schenk, F. Geelhaar, and G. Heiser, "Reassessment of the intrinsic carrier density in crystalline silicon in view of band-gap narrowing," J. Appl. Phys., vol. 93, no. 3, pp. 1598-1604, Feb. 2003, doi: 10.1063/1.1529297.

- [9] D. J. Thouless, "Maximum Metallic Resistance in Thin Wires," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 39, no. 18, pp. 1167–1169, Oct. 1977, doi: 10.1103/PhysRevLett.39.1167.
- [10] G. H. Bauer, "Real Photovoltaic Converters," in *Photovoltaic Solar Energy Conversion*, G. H. Bauer, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, pp. 109–166. doi: 10.1007/978-3-662-46684-1_5.
- [11] "Green, M.A (2001) Nature Vol.412, p.805 - References - Scientific Research Publishing." [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=481072](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=481072) (accessed Nov. 17, 2022).
- [12] W. R. Thurber, R. L. Mattis, Y. M. Liu, and J. J. Filliben, "Resistivity-Dopant Density Relationship for Boron-Doped Silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 10, p. 2291, Oct. 1980, doi: 10.1149/1.2129394.
- [13] "Proc. IEEE Photovoltaic Specialists Conf. | Request PDF." https://www.researchgate.net/publication/304749911_Proc_IEEE_Photovoltaic_Specialists_Conf (accessed Nov. 17, 2022).
- [14] "Physics of Semiconductor Devices, 3rd Edition | Wiley," <https://www.wiley.com/en-us/Physics+of+Semiconductor+Devices%2C+3rd+Edition-p-9780470068328> (accessed Nov. 18, 2022).
- [15] R. A. Sinton and R. M. Swanson, "Recombination in highly injected silicon," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 34, no. 6, pp. 1380–1389, Jun. 1987, doi: 10.1109/T-ED.1987.23095.
- [16] "IEEE Transactions on Electron Devices information for authors," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 68, no. 3, pp. C3–C3, Mar. 2021, doi: 10.1109/TED.2021.3059081.
- [17] M. Aghaei, H. Ebadi, A. K. V. de Oliveira, S. Vaezi, A. Eskandari, and J. M. Castañón, "Chapter 11 - New concepts and applications of solar PV systems," in *Photovoltaic Solar*

Energy Conversion, S. Gorjian and A. Shukla, Eds. Academic Press, 2020, pp. 349–390. doi: 10.1016/B978-0-12-819610-6.00011-9.

- [18] M. Grauvogl and R. Hezel, “The truncated-pyramid MIS inversion-layer solar cell: a comprehensive analysis,” *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–24, Jan. 1998, doi: 10.1002/(SICI)1099-159X(199801/02)6:1<15::AID-PIP199>3.0.CO;2-Q.
- [19] IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 21st, Kissimmee, FL, May 21–25, 1990, Conference Record. Vols. 1 & 2, vol. 1. 1990. Accessed: Nov. 18, 2022. [Online]. Available: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1990pvs..conf.....>
- [20] M. Taguchi et al., “HITTM cells – high-efficiency crystalline Si cells with novel structure,” *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 8, no. 5, pp. 503–513, 2000, doi: 10.1002/1099-159X(200009/10)8:5<503::AID-PIP347>3.0.CO;2-G.
- [21] A. Cuevas, G. Giroult-Matlakowski, P. A. Basore, C. DuBois, and R. King, “Extraction of the surface recombination velocity of passivated phosphorus-doped silicon emitters: Proceedings of the 24th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Part 2 (of 2),” *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, vol. 2, pp. 1446–1449, 1994.
- [22] A. G. Aberle, “Surface passivation of crystalline silicon solar cells: a review,” *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 8, no. 5, pp. 473–487, 2000, doi: 10.1002/1099-159X(200009/10)8:5<473::AID-PIP337>3.0.CO;2-D.
- [23] R. B. Olsen, D. A. Bruno, and J. M. Briscoe, “Pyroelectric conversion cycles,” *J. Appl. Phys.*, vol. 58, no. 12, pp. 4709–4716, Dec. 1985, doi: 10.1063/1.336244.
- [24] H. Nagel, A. Metz, and R. Hezel, “Porous SiO₂ films prepared by remote plasma-enhanced chemical vapour deposition – a novel antireflection coating technology for photovoltaic

- modules," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 65, no. 1, pp. 71–77, Jan. 2001, doi: 10.1016/S0927-0248(00)00079-9.
- [25] "Physical limitations to photovoltaic energy conversion (Book) | ETDEWEB." <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/6129282> (accessed Nov. 18, 2022).
- [26] A. Buzynin et al., "Silicon and III-V Solar Cells: From Modus Vivendi to Modus Operandi," *Green Sustain. Chem.*, vol. 07, no. 03, pp. 217–233, 2017, doi: 10.4236/gsc.2017.73017.
- [27] W. R. Thurber, R. L. Mattis, Y. M. Liu, and J. J. Filliben, "Resistivity-Dopant Density Relationship for Boron-Doped Silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 10, p. 2291, Oct. 1980, doi: 10.1149/1.2129394.
- [28] W. R. Thurber, R. L. Mattis, Y. M. Liu, and J. J. Filliben, "Resistivity-Dopant Density Relationship for Boron-Doped Silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 10, p. 2291, Oct. 1980, doi: 10.1149/1.2129394.
- [29] Luque A, "The Requirements of High Efficiency Solar Cells", in Luque A, Araujo G (Eds), *Physical Limitations to Photovoltaic Energy Conversion*, 1–42, Adam Hilger Ltd, Bristol (1990)..
- [30] cells. *Advanced Principles and Practice*, Chap. 7, Centre for Photovoltaic Devices and Systems, University of New South Wales, Sydney (1995).
- [31] Tiedje T, Yablonovitch E, Cody G, Brooks B, *IEEE Trans. Electron Devices* 31, 711–716 (1984).
- [32] 5th Framework Programme EC Project ERK5-1999-00002 "High efficiency silicon solar cells concentrator (HISICON)".
- [33] Verlinden P et al., *Proc. 14th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 96–100 (1997).
- [34] Ohtsuka H, Sakamoto M, Tsutsui K, Yazawa Y, *Prog. Photovolt.* 8, 385–390 (2000).

- [35] Luque A, Ruiz J, Cuevas A, Agost M, Proc. 1st Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion, 269–277 (1977)
- [36] Zhao J, Wang A, Green M, Prog. Photovolt. 7 471–474 (1999).
- [37] Saitoh T, Hashigami H, Rein S, Glunz S, Prog. Photovolt. 8 535–547 (2000).
- [38] S. M. Myers, M. Seibt, and W. Schröter, “Mechanisms of transition-metal gettering in silicon,” J. Appl. Phys., vol. 88, no. 7, pp. 3795–3819, Oct. 2000, doi: 10.1063/1.1289273.
- [39] S. A. McHugo, H. Hieslmair, and E. R. Weber, “Gettering of metallic impurities in photovoltaic silicon,” Appl. Phys. A, vol. 64, no. 2, pp. 127–137, Jan. 1997, doi: 10.1007/s003390050453.
- [40] S. Martinuzzi, N. G. Henquinet, I. Périchaud, G. Mathieu, and F. Torregrossa, “Efficiency of cavity gettering in single and multicrystalline silicon wafers,” Mater. Sci. Eng. B, vol. 71, no. 1, pp. 229–232, Feb. 2000, doi: 10.1016/S0921-5107(99)00380-3.
- [41] S. R. Wenham and M. A. Green, “Silicon solar cells,” Prog. Photovolt. Res. Appl., vol. 4, no. 1, pp. 3–33, 1996, doi: 10.1002/(SICI)1099-159X(199601/02)4:1<3::AID-PIP117>3.0.CO;2-S.
- [42] B. L. Sopori et al., “Hydrogen in silicon: A discussion of diffusion and passivation mechanisms,” Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 41–42, pp. 159–169, Jun. 1996, doi: 10.1016/0927-0248(95)00098-4.
- [43] M. A. Green, “Silicon solar cells: at the crossroads,” Prog. Photovolt. Res. Appl., vol. 8, no. 5, pp. 443–450, 2000, doi: 10.1002/1099-159X(200009/10)8:5<443::AID-PIP338>3.0.CO;2-D.
- [44] J. Zhao, A. Wang, and M. A. Green, “Accelerated publication 23.5% efficient silicon solar cell,” Prog. Photovolt. Res. Appl., vol. 2, no. 3, pp. 227–230, 1994, doi: 10.1002/pip.4670020306.

- [45] S. Wenham, "Buried-contact silicon solar cells," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–10, 1993, doi: 10.1002/pip.4670010102.
- [46] A. Cuevas and D. A. Russell, "Co-optimisation of the emitter region and the metal grid of silicon solar cells," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 8, no. 6, pp. 603–616, 2000, doi: 10.1002/1099-159X(200011/12)8:6<603::AID-PIP333>3.0.CO;2-M.
- [47] J. F. Nijs, J. Szlufcik, J. Poortmans, S. Sivoththaman, and R. P. Mertens, "Advanced manufacturing concepts for crystalline silicon solar cells," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 46, no. 10, pp. 1948–1969, Oct. 1999, doi: 10.1109/16.791983.
- [48] S. W. Glunz, J. Knobloch, D. Biro, and W. Wettling, "Optimized high-efficiency silicon solar cells with $J_{sc} = 42$ mA/cm² and $\eta = 23.3\%$," in *Proceedings of the 14th European photovoltaic solar energy conference, 1997*, pp. 392–395.
- [49] J. Zhao, A. Wang, P. P. Altermatt, and G. Zhang, "Peripheral loss reduction of high efficiency silicon solar cells by MOS gate passivation, by poly-Si filled grooves and by cell pattern design," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 8, no. 2, pp. 201–210, 2000, doi: 10.1002/(SICI)1099-159X(200003/04)8:2<201::AID-PIP288>3.0.CO;2-V.
- [50] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light*, 7th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. doi: 10.1017/CBO9781139644181.
- [51] J. Zhao and M. A. Green, "Optimized antireflection coatings for high-efficiency silicon solar cells," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 38, no. 8, pp. 1925–1934, Aug. 1991, doi: 10.1109/16.119035.
- [52] J. M. Rodríguez, I. Tobías, and A. Luque, "Random pyramidal texture modelling," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 45, no.

3, pp. 241–253, Feb. 1997, doi: 10.1016/S0927-0248(96)00040-2.

- [53] A. Moehlecke, “Conceptos avanzados de tecnología para células solares con emisores P+ dopados con boro,” <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, Universidad Politécnica de Madrid, 1996. Accessed: Nov. 16, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=237370>
- [54] R. J. V. Overstraeten and R. P. MERTENS, *Physics, technology and use of photovoltaics*. Bristol: Adam Hilger Ltd., 1986.
- [55] J. D. Hylton, R. Kinderman, A. R. Burgers, W. C. Sinke, and P. M. M. C. Bressers, “Uniform pyramid formation on alkaline-etched polished monocrystalline (100) silicon wafers,” *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 4, no. 6, pp. 435–438, 1996, doi: 10.1002/(SICI)1099-159X(199611/12)4:6<435::AID-PIP150>3.0.CO;2-5.
- [75] Lenkeit B et al., *Proc. 16th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 1332–1335 (2000).
- [76] Hoornstra J, de Moor H, Weeber A, Wyers P, *Proc. of the 16th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 1416–1419 (2000).
- [77] Bruton T et al., *Proc. 14th EC Photovoltaic Specialist Conf.*, 11–19 (1997).
- [78] Tool C et al., *Prog. Photovolt.* 10, 279–291 (2002).
- [79] Martinelli G et al., *Proc. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 778, 779 (1997).
- [80] Munzer K, Holdermann K, Schlosser R, Sterk S, “*IEEE Trans. Electron Devices* 46, 2055–2061 (1999).
- [81] Finck von Finckenstein B et al., *Proc. 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conf.*, 198–200 (2000). P et al., *Proc. 14th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion*, 96–100 (1997).
- [82] Finck von Finckenstein B et al., *Proc. 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conf.*, 198–200 (2000).

- [83] Moschner J et al., Proc. of the 2nd World CPEC, 1426–1429 (1998)
- [84] Nijs J et al., IEEE Trans. Electron Devices 46, 1948–1969 (1999).
- [85] Nijs J et al., IEEE Trans. Electron Devices 46, 1948–1969 (1999).
- [86] Sivothythaman S et al., Proc. 14th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion, 400–403 (1997).
- [87] Doshi P et al., Proc. 25th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 421–424 (1996).
- [88] Doshi P et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 41/42, 31–39 (1996).
- [89] Biro D et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 74, 35–41 (2002).
- [90] Perichaud I, Floret F, Martinuzzi S, Proc. 23rd IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 243–247 (1993).
- [91] Perichaud I, Floret F, Martinuzzi S, Proc. 23rd IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 243–247 (1993).
- [92] Macdonald D, Cuevas A, Ferraza F, Solid-State Electron. 43, 575–581 (1999).
- [93] Gee J, Sopori B, Proc. 26th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 155–158 (1997).
- [94] del Canizo C, Tobias I, Lago R, Luque A, J. Electrochem. Soc. 149, 522–525 (2002).
- [95] Gandhi S, VLSI Fabrication Principles, Chap. 8, John Wiley & Sons, New York (1994)
- [96] Johnson J, Hanoka J, Gregory J, Proc. 18th Photovoltaic Specialist Conf., 1112–1115 (1985).
- [97] Sopori B, Deng X, Narayanan S, Roncin S, Proc. 11th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion, 246–249 (1992).
- [98] Szulfcik J et al., Proc. 12th EC Photovoltaic Specialist Conf., 1018–1021 (1994)
- [99] Leguijt C et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 40, 297–345 (1996)

- [100] Aberle A, Hezel R, Prog. Photovolt. 5, 29–50 (1997)
- [101] Soppe W et al., “On Combining Surface and Bulk Passivation of SiN_x:H Layers for mc-Si Solar Cells”, Proc. 29th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. (New Orleans, 2002); in press
- [102] Ruby D, Wilbanks W, Fieddermann C, IEEE 1st WPEC 1335–1338 (1994).
- [103] Shirasawa K et al., Proc. 21st IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 668–673 (1990)
- [104] Zhao J, Wang A, Campbell P, Green M, IEEE Trans. Electron Devices 46, 1978–1983 (1999)
- [105] De Wolf S et al., Proc. 16th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1521–1523 (2000)
- [106] Bilyalov R, Stalmans L, Schirone L, Levy-Clement C, IEEE Trans. Electron Devices 46, 2035–2040 (1999)
- [107] Spiegel M et al., Sol. Energy Mater. Solar Cells 74, 175–182 (2002)
- [108] Huster F et al., Proc. 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 1004–1007 (2000)
- [109] Joos W et al., Proc. 16th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1169–1172 (2000)
- [110] Pirozzi L et al., Proc. 12th Euro. Conf. Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1025–1028 (1994)
- [111] Ruby D et al., Proc. of the 2nd World CPEC, 39–42 (1998)

TENTANG PENULIS

Dr. Soni Prayogi. M.Si



Currently works in Electrical Engineering, at Pertamina University, Indonesia. He does research in materials science, condensed matter physics, magnetic compounds, and nano /2D-materials.

Riwayat Pendidikan penulis yaitu Universitas Syiah Kuala (S-1) Pendidikan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (S-2) Fisika, dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (S-3) Fisika.



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202377085, 5 September 2023

Pencipta
Nama : **Soni Prayogi**
Alamat : Jl. Ujong Blang, Desa PB Seuleumak, Kota Langsa, Aceh, Langsa Baro, Langsa, Di Aceh 24415
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta
Nama : **Soni Prayogi**
Alamat : Jl. Ujong Blang, Desa PB Seuleumak, Kota Langsa, Aceh, Langsa Baro, Langsa, Di Aceh 24415
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : **Buku**
Judul Ciptaan : **Aplikasi Kristal Silikon Dan Modul-Modulnya**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 2 September 2023, di Purbalingga
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.
Nomor pencatatan : 000510038

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon. Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri



Anggoro Dasananto
NIP. 196412081991031002

Disclaimer:
Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.