



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معابر

بهینه سازی طراحی دووجهی سلول خورشیدی HIT روی زیرلایه های سیلیکون نوع p

توسط شبیه سازی HIT

چکیده

پیوند ناهمگون با سلول های خورشیدی (HIT) لایه نازک ذاتی ساخته شده بر روی زیرلایه های سیلیکونی نوع p معمولا نشاندهنده عملکرد نامرغوب نسبت به زیرلایه های تشکیل شده روی زیرلایه های نوع n است. تاثیر پارامترهای مختلف ساختار روی عملکرد سلول دووجهی HIT خورشیدی مبتنی بر C-Si(p)، یعنی سلول خورشیدی $\text{TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)/a-Si:H(i)/a-Si:H(p^+)/TCO}$ با جزئیات توسط شبیه سازی کامپیوترا با استفاده از نرم افزار AFORS-HET مورد بررسی قرار گرفت. تابع کار اکسید رسانای شفاف به عنوان یک عامل کلیدی موثر بر عملکرد سلول خورشیدی مشخص شده است. مکانیسم های نفوذ مفصل مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت. بر این اساس، بهینه سازی طراحی سلول خورشیدی دو وجهی HIT روی زیرلایه های C-Si(p) ارائه شد.

كلمات کلیدی: HIT. اکسید رسانای شفاف. تابع کار. شبیه سازی

1. مقدمه

بر اساس یک جذب کننده سیلیکون نوع n SANYO Ltd، Czochralski یک سلول خورشیدی ناهمگون سیلیکون به نام پیوند ناهمگون با لایه نازک ذاتی (HIT) با راندمان بیش از 20٪ را توسعه داده است [1]. ساخت HIT شامل رسوب لایه های سیلیکن بی نظم نازک هیدروژنه (a-Si:H) در هر دو طرف یک ویفر بلوری سیلیکون (c-Si) با کیفیت بالا با رسوب بخار شیمیایی پلاسما-ارتقا یافته می شود. این فرآیند می تواند رویینگی سطح عالی و تشکیل اتصال P-N را به طور همزمان تحقق بخشد. درجه حرارت پردازش کم (200°C) مانع از تخریب ویژگی های حجمی زیرلایه می شود که معمولاً در فرآیندهای درجه حرارت بالا مشاهده می شود. علاوه بر این، در مقایسه

با سلول های خورشیدی منتشر شده معمولی، سلول های خورشیدی HIT دارای ضریب دمای بهتر و ولتاژ مدار باز

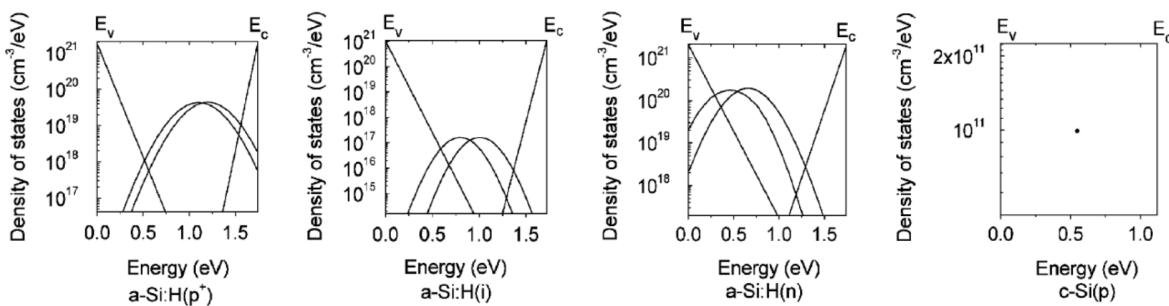
بالاتر (V_{OC}) [2-4] می شوند. به این دلایل، سلول های خورشیدی HIT به طور گستردگی بررسی شده اند.

اگرچه طرح اصلی SANYO از زیرلايه نوع n به عنوان جاذب سلول خورشیدی HIT استفاده نمود، ، به دلیل محبوبیت آن در صنعت فتوولتائیک، تحقیقات فعلی روی توسعه سلول خورشیدی HIT در یک زیرلايه نوع p مرکز نموده است [5-7]. با این حال، عملکرد ضعیف تری برای دستگاه های ساخته روی c-Si(p) در مقایسه با دستگاه های ساخته روی c-Si(n) مشاهده شد. با توجه به باند ظرفیت بزرگ جبران [8,9] این به اثر میدان سطح پشت (BSF) ضعیف در c-Si(p)/a-Si:H(p⁺) نسبت داده شد. به تازگی، NREL یک عملکرد مناسب و معقول HIT را روی c-Si(p) با استفاده از a-Si:H(p⁺) BSF [10] به دست آوردند که نشان می دهد تحقیقات بیشتری برای درک کامل عوامل موثر بر عملکرد سلول خورشیدی HIT مبتنی بر- c-Si(p) لازم است، اگرچه چنین کارهایی تا حد زیادی [11,12] انجام شده است.

با توجه به تعداد زیادی از متغیرهای پردازش، مانند غلظت دوپینگ امیتر بی نظم، ضخامت لایه بی نظم ذاتی، همترازی پیوند ناهمگون Si بی نظم / بلوری باند و غیره، این یک کار توانمند برای بررسی اثر هر متغیر بر عملکرد تجربی سلول های خورشیدی است. شبیه سازی عددی با استفاده از نرم افزار AMPS و یا AFORS-HET، یک راه مناسب برای بررسی دقیق نقش پارامترهای مختلف [12-14] را فراهم می کند. در اینجا، عملکرد سلول خورشیدی مبتنی بر- c-Si(p) به عنوان HIT دووجهی مثال سلول خورشیدی، AFORS- TCO/a-Si: H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)/a-Si:H(i)/a-Si:H(p⁺)/TCO به عنوان ابزار شبیه سازی عددی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر پارامترهای مختلف برای ساختارهای جلو و عقب به طور خاص مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که تابع کاری اکسید رسانای شفاف (W_{TCO}) یک عامل کلیدی برای تاثیر بر عملکرد سلول های خورشیدی بود. مکانیسم مفصل نفوذ قرار گرفت. بر این اساس، بهینه سازی طراحی دو وجهی HIT سلول های خورشیدی در زیرلايه های C-Si(p) ارائه شد.

2 شبیه سازی

[11.12] Shockley-Read-Hall AFORS-HET معادلات نیمه هادی یک بعدی را بر اساس آمارهای نوترکیبی حل می کند. در اینجا، چگالی های حالت فاصله از همه انواع لایه های $a\text{-Si:H}$ و پایه $c\text{-Si}(p)$ به عنوان مقادیر پیش فرض در AFORS-HET تنظیم شد. توزیع مربوطه در شکل 1 به تصویر کشیده شد. چگالی حالت واسطه برای HF - $a\text{-Si:H}/c\text{-Si}$ واسطه به عنوان $1.0 \times 10^7 \text{ cm s}^{-1}$ ثابت شد که می تواند توسط پرداخت مرسوم DIP [15] به دست اید. سرعت های نوترکیبی سطح الکترون ها و حفره ها به اندازه $1.0 \times 10^7 \text{ cm s}^{-1}$ تنظیم شد. تابش AM1.5 خورشیدی به عنوان منبع روشنایی با تراکم قدرت 100 mW cm^{-2} اتخاذ شد. انعکاس نور از اتصالات جلو و پشت در 0.1 و 1 تنظیم شد. دیگر پارامترهای شبیه سازی همانطور که در جدول 1 نشان داده شده است، مقادیر اولیه داده شده بودند. در طول شبیه سازی، تمام پارامترها به عنوان مقادیر تنظیمات فوق به جز برای موارد اعلام شده اتخاذ شدند.



شکل 1. توزیع حالت فاصله انواع مختلف لایه های $a\text{-Si:H}$ و شبیه سازی $c\text{-Si}(p)$.

3 نتایج و بحث

3.1 بهینه سازی ساختار جلو

3.1.1 اثر غلظت دوپینگ امیتر (Ne)

شکل 2 عملکرد سلول خورشیدی $TCO/a\text{-Si:H}(n)/c\text{-Si}(p)$ را به عنوان یک تابع از Ne با این فرض ارائه می دهد که اتصال $TCO/a\text{-Si:H}(n)$ یک اتصال با باند مسطح است. نتایج نشان می دهند که Ne باید بالاتر از

برای چنین غلظت دوپینگ بالایی، با توجه به افست باند هدایت کوچک بین $a\text{-Si:H}$ و $c\text{-Si}$ ، و همچنین توزیع $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ باشد تا عملکرد خوب را به دست آید. شرایط لازم

برای چنین غلظت دوپینگ بالایی، با توجه به افست باند هدایت کوچک بین $a\text{-Si:H}$ و $c\text{-Si}$ ، و همچنین توزیع $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ باشد تا عملکرد خوب را به دست آید. شرایط لازم

حالات شکاف در $a\text{-Si:H}/c\text{-Si}$ است. چنین حالات نقص دارای یک اثر وصل شدن هستند تا جنبش سطح فرمی (E_f) را در یک $a\text{-Si:H}(n)$ محدود نمایند. هنگامی که N_e برابر با $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ است، AFORS-HET نشان می‌دهد که E_f قبلاً تنها 0.04 الکترون ولت به دور از لبه باند هدایت است. این به این معنی انرژی فعال سازی الکترون 0.04 ولت است که اگر N_e بسیار بالاتر شود، بیش از حد کم و به سختی می‌تواند حتی بیشتر کاهش یابد. بنابراین، هنگامی که N_e تا حدود $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ بود، عملکرد سلول خورشیدی تقریباً با افزایش N_e بدون تغییر می‌ماند که می‌تواند به وضوح در شکل 2 دیده شود. علاوه بر این، N_e بسیار بالا به دلیل خواص الکترونیکی تحتانی سنگین امیتر دوپ شده غیر قابل قبول است. از این رو، می‌توان در نظر گرفت که N_e از $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ می‌تواند لزوماً نماینده غلظت دوپینگ بالای قابل قبول باشد.

Parameters	$a\text{-Si:H (p+)}$	$a\text{-Si:H (i)}$	$a\text{-Si:H (n)}$	$c\text{-Si (p)}$
Layer thickness (nm)	10	3	10	3×10^5
Dielectric constant	11.9	11.9	11.9	11.9
Electron affinity (eV)	3.9	3.9	3.9	4.05
Band gap (eV)	1.74	1.72	1.74	1.12
Optical band gap (eV)	1.74	1.72	1.74	1.12
Effective conduction band density (cm^{-3})	1×10^{20}	1×10^{20}	1×10^{20}	2.8×10^{19}
Effective valence band density (cm^{-3})	1×10^{20}	1×10^{20}	1×10^{20}	1.04×10^{19}
Electron mobility ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)	5	5	5	1040
Hole mobility ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)	1	1	1	412
Doping concentration of acceptors (cm^{-3})	1×10^{20}	0	0	1×10^{16}
Doping concentration of donators (cm^{-3})	0	0	1×10^{20}	0
Thermal velocity of electrons (cm s^{-3})	1×10^7	1×10^7	1×10^7	1×10^7
Thermal velocity of hole (cm s^{-3})	1×10^7	1×10^7	1×10^7	1×10^7
Layer density (g cm^{-3})	2.328	2.328	2.328	2.328
Auger recombination coefficient for electron ($\text{cm}^6 \text{s}^{-1}$)	0	0	0	0
Auger recombination coefficient for hole ($\text{cm}^6 \text{s}^{-1}$)	0	0	0	0
Direct band-to-band recombination coefficient ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$)	0	0	0	0

جدول 1 برخی از مقادیر پارامترهای اولیه اتخاذ شده برای سلول خورشیدی دووجهی HIT در شبیه سازی ها

پارامترهای

ضخامت لایه (نانومتر)

ثابت دی الکتریک

وابستگی الکترون (الکترون ولت)

باندگپ (الکترون ولت)

باندگپ نوری (الکترون ولت)

چگالی باند هدایت موثر (cm^{-3})

چگالی باند ظرفیت موثر (cm^{-3})

تحرک الکترون ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)

تحرک حفره ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$)

غلظت دوپینگ پذیرنده ها (cm^{-3})

غلت دوپینگ دهنده ها (cm^{-3})

سرعت حرارتی الکترون ها (cm s^{-3})

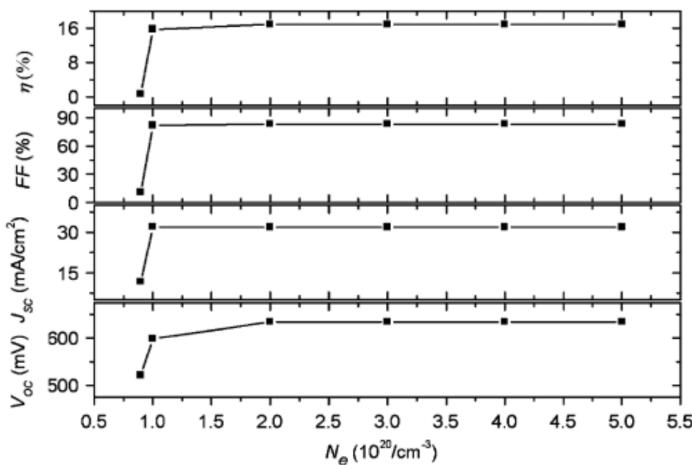
سرعت حرارتی حفره ها (cm s^{-1})

چگالی لایه (g cm^{-3})

ضریب نوترکیب Auger برای الکترون ها ($\text{cm}^6 \text{s}^{-1}$)

ضریب نوترکیب Auger برای حفره ها ($\text{cm}^6 \text{s}^{-1}$)

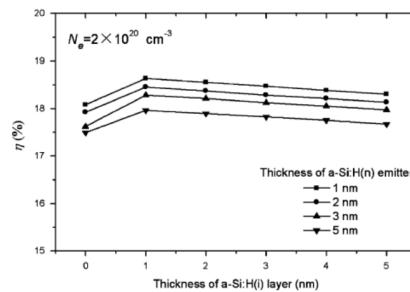
ضریب نوترکیب باند-به-باند مستقیم ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$)



شکل. 2. عملکرد شبیه سازی شده سلول خورشیدی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}/\text{c-Si(p)}$ به عنوان یک تابع از غلظت دوپینگ a-Si:H(n) با اتصال $\text{a-Si:H(n)}/\text{TCO}$ به عنوان اتصال باند هموار، که در آن η بازده، FF ، J_{sc} و V_{oc} عامل پرکننده، J_{SC} چگالی جریان اتصال کوتاه، و V_{oc} ولتاژ مدار باز است.

3.1.2 نفوذ ضخامت لایه ذاتی

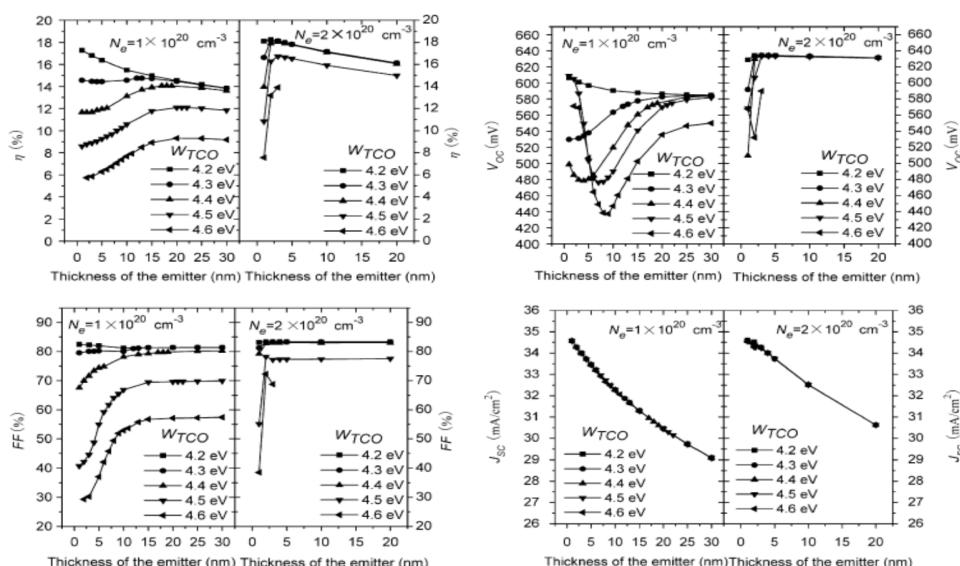
به منظور منفعت نمودن واسطه بی نظم / بلوری، یک لایه a-Si:H(i) بین امیتر و پایه برای ساخت ساختار HIT وارد می شود. لایه a-Si:H(i) نیز دارای مزیت دیگری است. از آنجا که طول انتشار حامل های آزاد در یک لایه a-Si:H کوتاه است، حمل و نقل حامل رانش میدان الکتریکی نسبت به انتشار دارای بازده بالاتر است. درج لایه Si:H نازک می تواند عرض منطقه تخلیه را در دو لایه a-Si:H برای افزایش سهم جریان رانش با هزینه کم قدرت میدان الکتریکی کاهش یافته بکاهد. شکل. 3، بهره وری شبیه سازی شده (η) را برای سلول خورشیدی a-Si:H(i) در برابر ضخامت لایه درج شده با اتصال $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}/\text{a-Si:H(i)}/\text{c-Si(p)}$ ارائه می دهد. اگر چه بهترین بازده با درج لایه 1 a-Si:H(i) اتصال باند هموار و $N_e = 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ نانومتری به دست می آید، بازده سلول خورشیدی تنها کمی کاهش می یابد در حالی ضخامت لایه افزایش می یابد، اما بیش از 5 نانومتر نیست. بنابراین ضخامت 3 a-Si:H(i) نانومتری مطابق با روند ساخت واقعی [10] ترجیح داده می شود.



شکل. 3. بهره وری شبیه سازی شده از سلول خورشیدی TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p) در برابر ضخامت لایه درج شده a-Si:H(i) با اتصال a-Si:H(n)/TCO به عنوان اتصال تخت باند که در آن یک غلظت دوپینگ (Ne) برابر با $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ است.

3.1.3 نفوذ اتصال جلویی

شکل. 4 نشان دهنده وابستگی عملکرد سلول خورشیدی TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p) به ضخامت امیتر با تغییر WTCO و Ne است. لایه درج شده a-Si:H(i)، 3 نانومتر است. به وضوح مشاهده می شود که همراه با افزایش ضخامت امیتر، بازده سلول های خورشیدی در مرحله اول افزایش خواهد یافت و سپس به تدریج کاهش می یابد. یک ضخامت بهینه سازی شده (wth) برای امیتر به منظور به دست آوردن بهترین کارایی سلول های خورشیدی وجود دارد. زمانی که wth کاهش خواهد یافت.



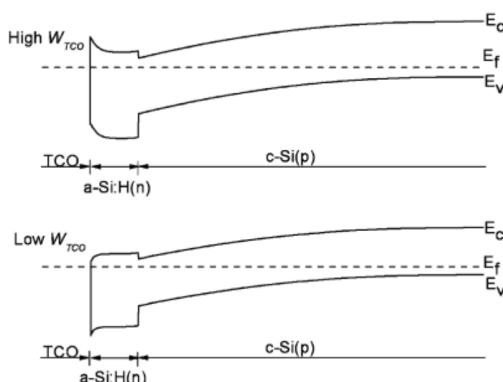
شکل 4. عملکرد شبیه سازی شده سلول خورشیدی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}/\text{a-Si:H(i)}/\text{c-Si(p)}$ به عنوان تابعی ضخامت امیتر با WTCO و Ne مختلف، که در آن، لایه a-Si:H(i) 3 نانومتر است. FF عامل پرکننده، JSC چگالی جریان اتصال کوتاه و V_{OC} ولتاژ مدار باز است.

برای درک این مورد، باید همترازی باند انرژی این چنین سلول های خورشیدی را در نظر گرفت، همانطور که به طور معمول در شکل 5 نشان داده شده است. اتصال شاتکی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}/\text{c-Si(p)}$ و پیوند a-Si:H(n) در هر طرف امیتر قرار می گیرند. هنگامی که WTCO کم است، Ef از TCO بالاتر از a-Si:H(n) است و در نتیجه پتانسیل داخلی (VD) اتصال شاتکی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}$ دارای همان جهت پیوند $\text{a-Si:H(n)}/\text{c-Si(p)}$ است، همانطور که در قسمت پایین شکل 5 نشان داده شده است. با این حال، در حالی که WTCO بالا است، VD یک اتصال شاتکی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}$ دارای جهت معکوس با اتصال خواهد بود، همانطور که در قسمت بالای شکل 5 نشان داده شده است. با افزایش WTCO , VD از اتصال شاتکی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}$ افزایش می یابد و منطقه تخلیه مربوطه در امیتر گستردگی شود که در نهایت اگر امیتر به اندازه کافی ضخیم نباشد، به همپوشانی بین منطقه تماس $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}$ و منطقه پیوند $\text{a-Si:H(n)}/\text{c-Si(p)}$ منجر می شود. بنابراین، اتصال VD , $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}$ کاهش خواهد داد. به نوبه خود، V_{OC} و عامل پرکننده FF سلول خورشیدی کاهش خواهد یافت.

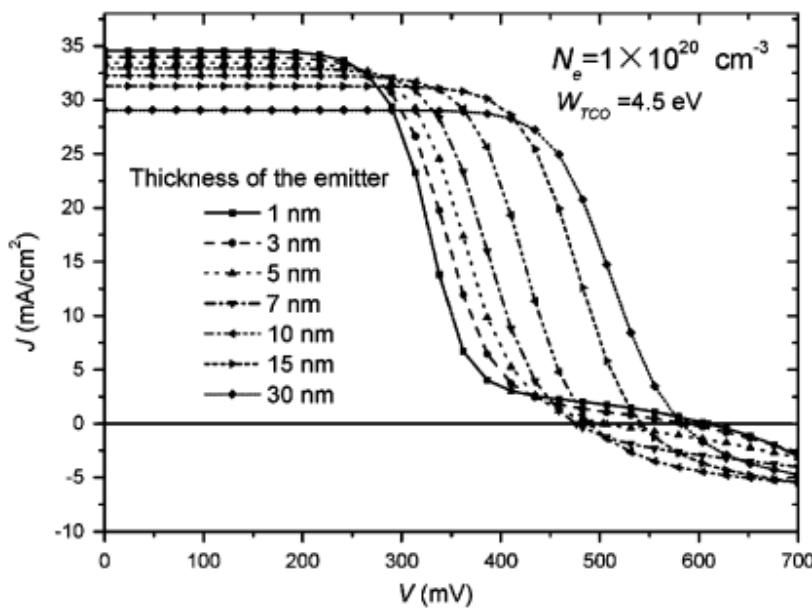
اگر چه می توان در شکل 4 دید که V_{OC} در برخی از موارد با یک WTCO بالا و ضخامت امیتر کم افزایش می یابد، این ظاهر متناقض با بحث بالا نیست. این را می توان به وضوح با سلول های خورشیدی منحنی V-J نشان داده شده در شکل 6 درک نمود. در اینجا، اتصال شاتکی $\text{TCO}/\text{a-Si:H(n)}$, غالب است، و اتصال $\text{a-Si:H(n)}/\text{c-Si(p)}$ را بازی می کند. این باعث دارای اثر کمی است و یا حتی نقش لایه قرار داده شده در ساختار $\text{TCO}/\text{c-Si(p)}$ را بازی می کند. این می شود که منحنی V-J سلول خورشیدی یک S -شکل مشخص را نشان دهنده. هرقدر یک اثر شدیدتر باشد، ولتاژ عطف پایین تر خواهد بود. در نتیجه، زمانی عطف پیش از V_{OC} رخ می دهد، افزایش خواهد یافت، اما FF تا

حد زیادی کاهش خواهد یافت. سلول های خورشیدی به دست آمده توسط این دارای عملکرد بسیار پست تر و غیر قابل قبول هستند.

از این رو، ضخامت امیتر باید برابر یا کمی بزرگتر از مجموع عرض مناطق تخلیه اتصال $a\text{-Si:H}(n)$ و پیوند $\text{TCO}/a\text{-Si:H}(n)$ باشد. در غیر این صورت، امیتر ضخیم، به دلیل خواص تحتانی آن در مقایسه با Si-C ، یک لایه مرده نوری برای سلول های خورشیدی است. چنین اثر لایه مرده نوری به چگالی جریان کاهش یافته اتصال کوتاه (JSC) منجر خواهد شد. بنابراین ضخامت امیتر نیز باید بیش از حد بزرگ باشد. بر این اساس، می توان استنباط نمود که برای هر WTCO و Ne معین، یک ضخامت حداقل از امیتر برای به دست آوردن بهینه سازی عملکرد سلول های خورشیدی بر اساس سازش بین دو اثر بالا وجود دارد. چنین ضخامت مناسب امیتر، درست بالاتر از w_{th} است.



شکل. 5. همترازی هندسی باند انرژی ساختار $\text{TCO}/a\text{-Si:H}(n)/a\text{-Si:H}(i)/c\text{-Si}(p)$ با WTCO کم و یا بالا. لایه $a\text{-Si:H}(i)$ بسیار نازک برچسب گذاری نشده است. EC ، لبه باند هدایت، Ef سطح فرمی و EV لبه باند ظرفیتی است.

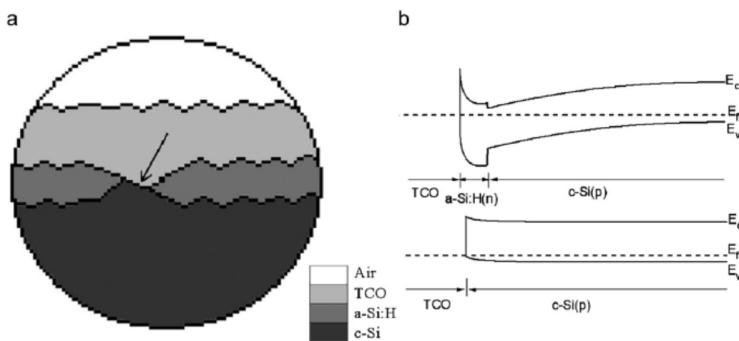


شکل. 6. منحنی $J-V$ از $A / TCO / H / Si:H(n) / a-Si:H(i) / c-Si(p)$ سلول های خورشیدی برابر ضخامت امیتر، که در آن $Ne = 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ و $W_{TCO} = 4.5 \text{ eV}$ ولت. J چگالی جریان و V ولتاژ اعمال شده است.

نتایج نشان داده شده شکل. 4 نشان می دهد که بهترین عملکرد را برای سلول خورشیدی- $TCO/a\text{-Si:H}(n)/a\text{-Si:H}(i)/c\text{-Si}(p)$ $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ تنها می تواند تحت شرایط زیر به دست آید: Ne باید برابر یا بالاتر از $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ باشد، W_{TCO} باید حداقل کمتر از 4.5 ولت باشد، و w_{th} مربوطه در حدود 2 نانومتر است. اگر Ne به دست آمده تنها بتواند به $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ یا کمتر برسد، عملکرد سلول خورشیدی و w_{th} تا حد زیادی توسط W_{TCO} تحت تاثیر قرار می گیرند. بازده سلول خورشیدی بسیار پایین تر از بالاترین سلول خواهد شد و w_{th} به چند ده نانومتر می رسد مگر اینکه W_{TCO} به اندازه کافی کم باشد.

در واقع، W_{TCO} از TCO مرسوم، مانند indiumtin-oxide (ITO)، اکسید روی و غیره، به طور کلی در محدوده $4.5-5.2$ ولت و معمولاً بالا است [16,17]. این کار، ساخت سلول خورشیدی- $TCO/a\text{-Si:H}(n)/a\text{-Si:H}(i)/c\text{-Si}(p)$ با کارایی بالا را دشوار می سازد. علاوه بر این، اگر لایه های نازک $a\text{-Si:H}$ به طور غیریکنواخت در عمل رسوب نمایند، TCO با زیرلایه $c\text{-Si}(p)$ به طور مستقیم در برخی از موضع اتصال خواهد داشت، همانطور

که توسط فلش در شکل 7 (a) نشان داده شده است. در این مورد، اگر WTCO آنقدر بالا باشد که EF از TCO a-Si:H(n)/c-Si(p) کمتر از (b) VD از تماس TCO/c-Si(p) نیز دارای جهت معکوس با پیوند (c-Si(p) خواهد داشت، همانطور که در شکل 7 (b) نشان داده شده است. در نتیجه اتصال شاتکی TCO/c-Si(p) معکوس، کانال های جریان اتصال کوتاه را برای تولید جریان از پیوند a-Si:H(n)/c-Si(p) القاء خواهد نمود که به کاهش J_{SC} و V_{OC} منجر می شود. Ef برای زیرلایه c-Si(p) استفاده شده در اینجا 4.99- الکترون ولت است. اگر WTCO/a-Si:H(n)/c-Si(p) بالاتر از 4.99 ولت باشد، مشکل فوق باید به دقت در ساخت سلول خورشیدی Si(p) در نظر گرفته شود.



شکل. 7. (a) معماری ممکن سلول خورشیدی TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p) با تماس مستقیم TCO/c-Si(p) در عمل (ضخامت لایه، مقیاس نیست). (b) همترازی باند انرژی مقایسه ای ساختارهای a-Si:H(i) با the TCO/c-Si(p) و TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p) بسیار نازک برچسب گذاری شده نیست.

شبیه سازی مشابه برای سلول خورشیدی TCO/a-Si:H(p)/a-Si:H(i)/c-Si(n) بیشتر انجام شد. نتایج نشان می دهد که اگر چه WTCO برای به دست آوردن عملکرد سلول های خورشیدی بالا باید بالا باشند، N_e برابر $w^{th} \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ و $WTCO$ از 5.2-5.1 ولت برای برآورده کردن این نیاز کافی می باشد. در این مورد، حدود 2 نانومتر است. این شرایط می تواند به راحتی در عمل به دست آید. علاوه بر این، پایه c-Si(n) استفاده می شود که معمولاً با مقاومت در حدود $1.0 \Omega \text{ cm}$ و E_f متناظر با -4.27 eV است. WTCO واقعی در هر صورت

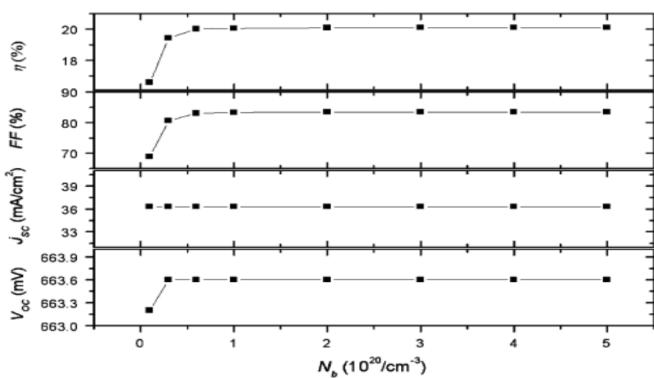
همیشه بالاتر از 4.27 ولت است. بنابراین، حتی اگر تماس TCO با پایه c-Si(n) به طور مستقیم باشد، درست همانطور که در شکل 7(a) رخ می دهد، VD برای اتصال TCO/c-Si(n) در اکثر موارد کمتر از پیوند a-Si:H(p)/c-Si(n) است، اما آنها هنوز هم همان جهت را دارند. بنابراین کانال های جریان اتصال کوتاهی از این دست، در سلول خورشیدی HIT در c-Si(p) وجود ندارد.

از این رو، TCO معمولی با WTCO بالا فقط برای امیتر سلول های خورشیدی HIT در زیرلایه های c-Si(n) مناسب می باشد. یک TCO جایگزین با WTCO کم باید برای ترویج عملکرد سلول خورشیدی HIT در زیرلایه C-Si(p) بهره برداری شوند. فیلم ITO گنجانیده شده سزیم می تواند نماینده ای برای برآورده سازی این نیاز باشد. مشخص شد که گنجاندن سزیم می تواند تابع کار را از 0.3 ITO به 0.4 ولت [18] کاهش دهد.

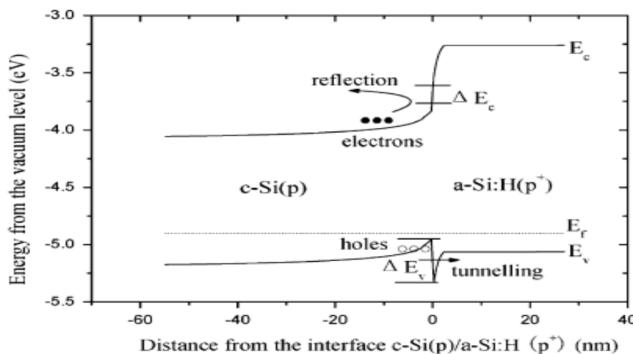
3.2. بهینه سازی ساختار پشت

3.2.1. تاثیر غلظت دوپینگ (NB) a-Si:H(p+)

شکل 8 عملکرد سلول خورشیدی (a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)/a-Si:H(i)/a-Si:H(p+)) به TCO/a-Si:H(n) و a-Si:H(i) به عنوان یک تابع از Nb را با این فرض نشان می دهد که اتصال پشتی، یک اتصال باند هموار است، که در آن WTCO برای اتصال جلویی 4.3 ولت است، $N_e = 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ، ضخامت لایه های a-Si:H(n) و a-Si:H(i) به ترتیب 2 و 3 نانومتر است. نتایج نشان می دهد که به منظور به دست آوردن عملکرد خوب، Nb باید بالاتر از $V_{OC} = 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ باشد. چنین Nb بالایی به طور عمد FF و V_{OC} و در نتیجه بازده سلول خورشیدی را بهبود می بخشد. همانطور که در شکل 9 نشان داده شده است، آفست باند هدایت بین H و a-Si:H در حدود 0.15 الکترون ولت، آفست باند ظرفیت هنوز در حدود 0.45 الکترون ولت است. J_{SC} اساساً بدون تغییر مانده در شکل 8 نشان می دهد که چنین جبران باند رسانش می تواند نقش خوبی برای منعکس نمودن حامل های اقلیت، که در اینجا الکترون ها هستند ایفا کند. اما جبران باند ظرفیت بزرگ، یک مانع را برای تونل زنی حامل های اکثربیت، که در اینجا حفره ها هستند ایجاد می کند. به منظور افزایش فرصت تونل زنی، Nb بالا به منظور کاهش عرض سد، در نتیجه بهبود FF و V_{OC} مورد نیاز است.



شکل. 8. عملکرد شبیه سازی شده سلول خورشیدی $a\text{-Si:H(p+)}/a\text{-Si:H(i)}/c\text{-Si(p)}/a\text{-Si:H(i)}/a\text{-Si:H(n)}$ در مقابل غلظت دوپینگ لایه (Nb) با تماس پشتی به عنوان یک باند هموار، که در آن Si:H(p+) ساختار جلویی بهینه سازی شده اتخاذ می شود. FF عامل پرکننده، JSC چگالی جریان اتصال کوتاه، V_{OC} ولتاژ مدار باز است.



شکل. 9. مکانیسم میدان پشت سطحی $a\text{-Si:H(p+)}$ برای سلول خورشیدی HIT در زیرلایه نوع p.

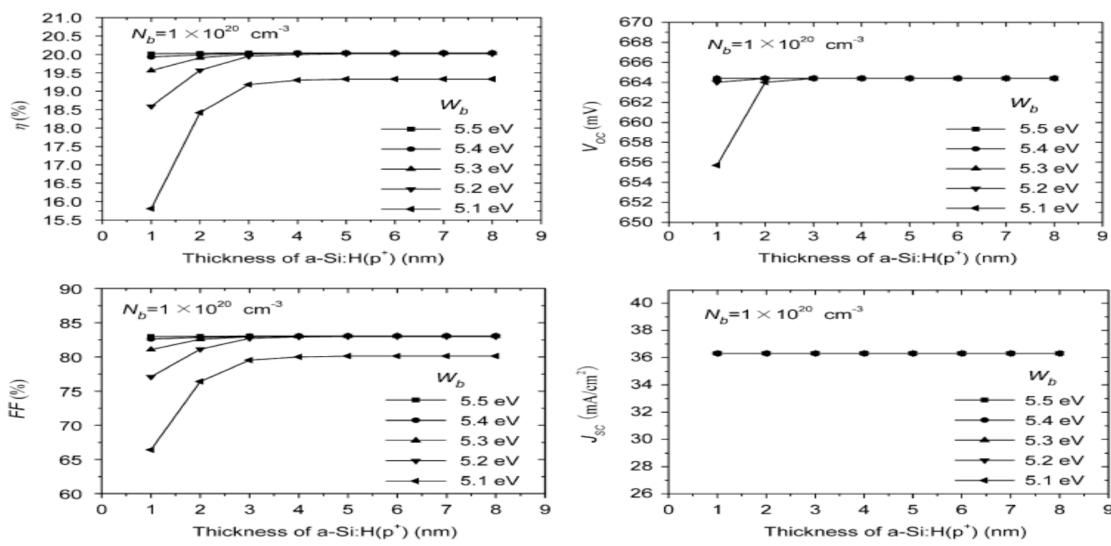
3.2.2 تاثیر اتصال پشتی $a\text{-Si:H(p+)}/\text{TCO}$

شکل. 10 نشان دهنده وابستگی عملکرد سلول خورشیدی $a\text{-Si:H(p+)}/a\text{-Si:H(i)}/c\text{-Si(p)}/a\text{-Si:H(i)}/a\text{-Si:H(n)}/\text{TCO}$ به ضخامت $a\text{-Si:H(p+)}$ با تنوع تابع کار پشتی $\text{Si:H(i)}/a\text{-Si:H(p+)}/\text{TCO}$ در آن $Nb \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ بیشتر اتخاذ شد. نتایج نشان می دهد که Wb کم می تواند عملکرد سلول های خورشیدی را نامرغوب نماید. این مکانیسم همان مکانیزم سابق توصیف شده برای اتصال جلویی است. یک لایه $a\text{-Si:H(p+)}$ ضخیم می تواند بر اثر منفی اتصال پشتی $\text{TCO}/a\text{-Si:H(p+)}$ غلبه نماید. به عنوان مثال، زمانی که Wb برابر با 5.2 الکترون ولت است، لایه 5 نانومتر $a\text{-Si:H(p+)}$ برای به دست آوردن بهترین عملکرد سلول

خورشیدی مورد نیاز است. لایه ضخیم تر های به کاهش عملکرد منجر نمی شود، زیرا فرض می شود که نور خورشید تنها بر روی سطح مقابله می تابد و در نتیجه هیچ اثر نوری لایه مرده برای لایه a-Si:H(p+) رخ نمی دهد. بنابراین، اگر سلول های خورشیدی برای استفاده دووجهی نباشند، یک لایه a-Si:H(p+) می تواند ضخامت نسبی بالایی را مطابق با برخی از الزامات روند تا زمانی که به اندازه کافی رسانا باشد داشته باشد.

علاوه بر این، هنگامی که Wb بالاتر از 5.6 ولت است، سطح فرمی TCO پایین تر از لبه باند ظرفیتی از a-Si:H(p+) خواهد بود. در نتیجه، VD برای اتصال شاتکی c-Si(p)/TCO اساساً بالاتر از پیوند c-Si(p)/a-Si:H(p+) است. اتصال c-Si(p)/TCO می تواند اثر BSF بهتر را نسبت به پیوند c-Si(p)/a-Si:H(p+) داشته باشد. از این رو، حذف لایه a-Si:H(p+) ممکن است. با این حال، در این مورد، برای سلول خورشیدی واقعی، کیفیت واسطه اتصال c-Si(p)/TCO به یکی دیگر از عوامل بسیار مهم تبدیل خواهد شد که باید به دقت در نظر گرفته شود.

در شبیه سازی های فوق، انعکاس نور از اتصال جلو و پشت به ترتیب برابر با 0.1 و 1 تعیین شد. برای سلول خورشیدی واقعی، این بازتاب می توان با تنظیم ضخامت TCO و / یا اتخاذ برخی از سازه های بافت در سطوح کنترل شود. بازتاب جلویی باید تا حد ممکن به ویژه برای نور مرئی کم باشد. و انعکاس داخلی پشت باید در عوض ، به ویژه برای نور با طول موج طولانی تر بالا باشد. در تحقیقات قبلی، ضخامت TCO در 80 نانومتر برای به دست آوردن کمترین بازتاب در طول موج حدود 600 نانومتر [3,8] بهینه شده است. برای استفاده دووجهی، مانند ضخامت TCO را می توان برای هر دو سطوح جلو و پشت استفاده نمود. اگر کاربرد تک طرفه در نظر گرفته شود، یک لایه فلز با بازتاب بالا می تواند بیشتر در TCO پشتی رسوب نماید.



شکل. 10. عملکرد شبیه سازی شده سلول خورشیدی a-Si:H(p+) BSF با تابع کارهای مختلف از TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)/a-Si:H(i)/a-Si:H(p+)/TCO تماس پشت با (WB)، که در آن $N_b = 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ و ساختار جلویی بهینه سازی شده اتخاذ شده است. V_{oc} چگالی جریان اتصال کوتاه و J_{sc} ولتاژ مدار باز است.

جدول 2 پارامترهای بهینه سازی برای دووجهی سلول های خورشیدی HIT در زیرلايه نوع p

Layer	Thickness (nm)	The doping concentration (cm^{-3})	Work function (eV)
Front TCO	80	—	<4.5
a-Si:H(n)	~2	2×10^{20} or above	—
a-Si:H(i)	3	—	—
c-Si(p)	300	1×10^{16}	—
a-Si:H(i)	3	—	—
a-Si:H(p ⁺)	~5	1×10^{20} or above	—
Back TCO	80	—	>5.2

به طور خلاصه، بهینه سازی طراحی سلول های خورشیدی دووجهی HIT روی زیرلايه های c-Si(p) ارائه شد. همه پارامترهای بهینه سازی در جدول 2 آمده است. بر اساس این تعمیم، سلول های خورشیدی HIT با عملکرد بالاتر را می توان در زیرلايه های c-Si(p) توسط بیشتر بمبود کیفیت تمام لایه مواد و تمامی واسطه ها به دست آورد.

4. نتیجه گیری

عملکرد سلول خورشیدی TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)/ a-Si:H(i)/a-Si:H(p+)/TCO با جزئیات با استفاده از نرم افزار AFORS-HET به عنوان یک ابزار شبیه سازی عددی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر پارامترهای مختلف برای ساختارهای جلو و پشت مورد مطالعه قرار گرفت. و بهینه سازی طراحی های مربوطه ارائه شد.

تابع کار اکسید رسانای شفاف (W_{TCO}) می تواند روی عملکرد HIT به وضوح تاثیر بگذارد. اگر WTCO مناسب نباشد، پتانسیل داخلی (VD) اتصال TCO/a-Si:H/c-Si و پیوند a-Si:H/c-Si جهات مخالف با یکدیگر خواهد داشت. در این مورد، منطقه تخلیه متداخل بین دو اتصال به کاهش عملکرد سلول های خورشیدی منجر خواهد شد. از این رو، ضخامت لایه a-Si:H باید برابر یا کمی بزرگتر از مجموع عرض مناطق تخلیه دو اتصال بالا در داخل لایه a-Si:H باشد. علاوه بر این، یک ضخامت بهینه سازی شده (wth) برای امیتر به منظور به دست آوردن بهترین کارایی سلول های خورشیدی در حالی که اثر نوری لایه مرده در لایه a-Si:H بیشتر درگیر است وجود دارد. برای ساختار (WTCO, TCO/a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)) باید تا حد امکان کم باشد. به منظور به دست آوردن عملکرد بالای سلول خورشیدی ، غلظت دوپینگ امیتر (Ne) a-Si:H(n) باید برابر یا بالاتر از $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ باشد، WTCO باید حداقل کمتر از 4.5 ولت و wth مربوطه حدود 2 نانومتر باشد. یک لایه Si:H(i) به منظور منفصل نمودن واسطه بی نظم / بلوری ترجیح داده می شود. برای ساختار لایه a-Si:H(i)/a-Si:H(p+)/TCO c-Si(p)/a-Si:H(i) پشتی، یک لایه a-Si:H(p+) نیز ترجیح داده می شود. تابع کار از پشت TCO (WB) باید تا حد ممکن بالا باشد. شرایط بهینه سازی شده: WB برابر با 5.2 ولت یا بالاتر، غلظت دوپینگ لایه (Nb) a-Si:H(p+) مساوی یا بالاتر از $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ، و ضخامت لایه a-Si:H(p+) حدود 5 نانومتر است. یک لایه a-Si:H(p+) ضخیم تر را می توان برای برآورده سازی برخی از الزامات روند تا زمانی که به اندازه کافی رسانا باشد اتخاذ نمود. و اگر WB بالا باشد، حذف لایه a-Si:H(p+) ممکن است. اتصال شاتکی c-Si(p)/TCO می تواند به صورت BSF به طور مستقیم باشد اما واسطه C-Si(p)/TCO باید به طور کامل کنترل شود.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

✓ لیست مقالات ترجمه شده

✓ لیست مقالات ترجمه شده رایگان

✓ لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI

سایت ترجمه فا؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معترض خارجی