

دینامیک‌های حامل در پیل‌های خورشیدی چند پیوندی کوانتوم نقطه‌ای تحت تمرکز

چکیده- معیار سنجش سلول خورشیدی چند پیوندی تطبیق شده شبکه‌ای (QD) کوانتوم نقطه‌ای (MJSCs)، متشکل از $Ge / GaAs (In) / InGaP$ یا $InAs / GaAs QDS$ می‌شوند که تحت روشنایی تمرکز بالا، با یک تمرکز بر دینامیک‌های حامل در لایه‌های QD زیر پیل میانه مورد بررسی قرار می‌گیرند. یک رویکرد رسانه‌ای مؤثر، برای توصیف تولید و ترکیب مجدد در سیستم QD مورد استفاده قرار می‌گیرد، که مشتمل بر فرار و تیراندازی حامل به واسطه حالت‌های QD و دیواره کوانتومی محدود می‌باشد. در یک تمرکز 1000 خورشید، شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که MJSC QD ویژه بررسی شده، نسبت به MJSC استاندارد تا 1/1٪ در بازدهی نسبی عملیاتی در دمای 25°C بهتر می‌باشد. اگرچه، این بازدهی بدست آمده عمدتاً به پتانسیل‌های لایه مرطوب‌سازی و به همان صورت عدم انطباق جریان موجود بین زیر پیل‌های میانه و بالا وابسته می‌باشد، هنگامی که نسبت‌های فرار در بین حدود لایه مرطوب‌سازی کاهش پیدا می‌کند.

کلمات کلیدی- دینامیک‌های حامل، فوتو ولتایی‌های متمرکز کننده، پیل‌های خورشیدی چند پیوندی

(MJSCs)، کوانتوم نقطه‌ای (QDS)، نیمه رساناهای III - V

1. مقدمه

تحقیق موجود در ارائه سیستم‌های فوتو ولتایی نسل جدید با بازدهی‌هایی که به 50٪ می‌رسد، در انطباق با فوتو ولتایی‌های متمرکز شده برای تمرکز نور خورشید در بین نواحی قطعه کوچکتر می‌باشد. این امکان کاهش در هزینه‌های تولید و رشد در ارتباط با پیل‌های خورشیدی چند پیوندی III - V را فراهم آورد و همچنین بازدهی دستگاه را به دلیل تأثیرات تمرکزی افزایش می‌دهد. فناوری موجود پیل‌های خورشیدی با پیوند سه تایی، برای مثال دستگاه تطبیقی شبکه‌ای متشکل از $Ge_{0.99}Es, Ge$ Pin_0 $Ge_{0.51}In_{0.49}$ ، در حال حاضر قادر به رسیدن بازدهی بیشتر از 40٪ در تمرکزات 400 خورشید می‌باشند. اگرچه، این طراحی MJSC قادر به استخراج ترکیب ایده آلی از شکاف‌های نواری نیست، از آنجایی که زیر پیل Ge، جریان نوری را به اندازه 60٪ در مقایسه با

دو زیر پیل بالا، بیش از حد تولید می‌کند. جریان نوری اضافی به صورت گرما پخش می‌شود، که این کاهش در برخی عملکردها منجر می‌شود.

یک طراحی پیشنهادی برای معماری این دستگاه با بهره‌گیری از رشد خود همگذاری ساختارهای ناهمگون نیمه رسانای ابعاد پایین برای مثال کوانتوم نقطه‌ای InAS (QDs) در یک لایه مرطوب‌سازی InAS (WL) در بین زیر پیل InGaAs بدست می‌آید. تأثیرات محدودیت ابعادی صفر در این ساختارهای نانو به منظور ایجاد انتقال‌های انرژی باز تولیدپذیر و کنترل شده با همپوشی کارکرد موجی قوی نشان داده شده است. به عنوان یک نتیجه‌گیری، این ساختارهای نانو می‌توانند برای مهار انرژی‌های فوتون زیر شکاف نواری مواد انبوه، به سازه‌مهندسی شده باشند، که این به توزیع مجدد جریان از پایین زیر پیل Ge تا میانه زیر پیل منجر می‌شود.

در ترکیب با یک شکاف نواری زیر پیل بالای بهینه شده با استفاده از تأثیرات ترتیبی زیر شبکه در InGap، چگالی جریان مدار کوتاه (Isc) کل قطع را می‌توان تحت روشنایی خورشیدی -1 افزایش داد. این راهبرد را می‌توان به طور بلقوه برای افزایش بازدهی کلی قطعه، بسته به افت در ولتاژ مدار باز (Voc) و فاکتور کامل (FE) استنتاج کرد، که این ساختارهای شکاف نواری پایین‌تر را در زیر پیل میانه معرفی می‌کند. رسیدن به ولتاژ مدار باز 1-V نزدیک برای یک پیل خورشیدی GaAs تک پیوندی مشتمل بر InAS/GaAsQDS، اخیراً در ادبیات [8] نشان داده شده و یک کار برجسته و امیدوار کننده برای کاربردهای MJSC می‌باشد.

به منظور رسیدن به یک بهبود کلی در عملکرد، اگرچه، دینامیک‌های حامل نزدیک این ساختارهای ناهمگون نیمه رسانای ابعاد پایین، باید با جزئیات بیشتر ارائه شود، از آنجایی که این بر نسبت‌های ترکیبی اثر می‌گذارد که ذاتاً Voc و FF و بنابراین بازدهی (η) را نشان می‌دهند. علاوه بر این، این تأثیرات باید همچنین در تمرکز بررسی شوند که در آنجا رقابت بین نسبت‌های باز ترکیب رادیواکتیو و غیر رادیواکتیو عملکرد کلی پیل را نشان می‌دهد. در این مقاله، ما تحقیقی را در مورد تأثیرات دینامیک‌های حامل در سیستم InAS/InGaAs QA در عملکرد کلی یک InGap/ InGaAs/Ge MJSC ارائه می‌کنیم.

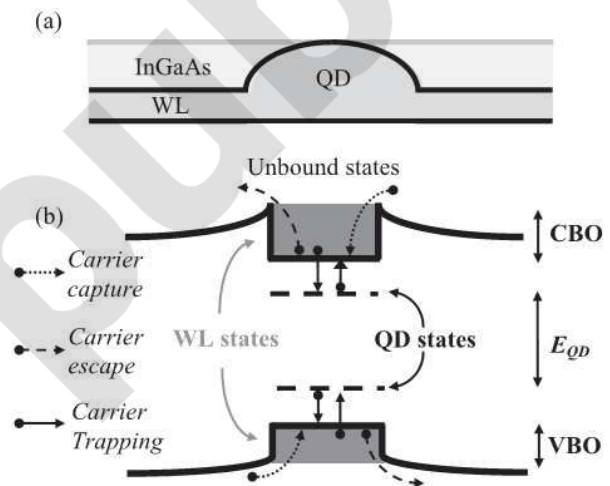
این تحقیق، فعالیت پیشین ما را در ایجاد مدل عددی یک QD MJSC مطرح می‌کند، که بر تولید و باز ترکیب در لایه‌های QD متمرکز می‌باشد. ما نخست، پیش از اینکه بحث کنیم که چگونه با دینامیک‌های حامل در محیط مدل‌سازی عددی برخورد می‌شود، طرح کلی خلاصه‌ای از مدل را ارائه می‌کنیم. این مدل با استفاده از

Sentaurus نوع TCAD و VG-2012-06 به واسطه Synopsys ایجاد می‌شود، جایی که معادلات انتقال به واسطه روش‌های عنصر محدود و تفاضل متناهی Sentaurus Device ارائه می‌شوند. عملکرد QD MJSC بنابراین تحت شرایط آزمایشی استاندارد شبیه‌سازی می‌شود، پیش از آنکه عملکرد در سراسر روشنایی متمرکز مورد بررسی قرار گیرد.

2- مدل و ساختار

ساختار MJSC مشتمل بر یک روکش ضد انعکاس دو لایه SiO_2 و Si_3N_4 ، یک زیر پیل InGaP بالایی متصل به سری‌ها با یک زیر پیل InGaAs ، از طریق یک پیوند تونلی AlGaAs/GaAs می‌شود که همچنین به سری‌ها یک زیر پیل پایین Ge از طریق یک TJ مشابه متصل می‌شود. اتصال میانی، زیر پیل p-i-n-i-p ، زیر پیل ایمن و نلی اس دو لایه نایی متمرکز مورد بررسی قرار گیرد.

این نسبت‌های باز ترکیب رادیاالکتیو و غیر رادیاالکتیو عملکرد، لایه یک رسانه مؤثر می‌باشند که InAs QD و WL مربوطه را توصیف می‌کند. این پیکربندی برحسب بازدهی به عنوان تابعی از تعداد لایه‌های QD ، به عنوان بهینه نزدیک تعیین می‌شود.



شکل 1 (a) ساختمان InAs WL و QD با جزیی از InGaAs بعنوان جدا کننده و این یک فرم محیط کار می‌باشد. (b) حامل‌های دینامیکی بین باند‌ها و غیر باند‌ها استیت‌ها در داخل سیستم InAs/InGaAs می‌باشد. که فرار و گیرافتادن حامل‌ها مدل‌سازی شده‌اند در اثر نشر حرارتی داخل و خارج باند استیت‌ها. E_{QD} گراند استیت در حال تغییر از انرژی به QD و QD2 گراند استیت می‌باشد. مدل برای تله‌های سطحی CBO و VBO هستند باند هدایت و باند ظرفیت به ترتیب هستند.

رسانه مؤثر یک ضخامت کلی $1/7 \text{ nm}$ را دارا می‌باشد و لایه‌های QD مجاور به واسطه لایه‌های فاصله‌گذار ذاتی $8/3 \text{ InGaAs}$ نانومتری تفکیک می‌شوند، به گونه‌ای که تونل‌زنی بیل لایه‌های مجاور قابل توجه نمی‌باشد؛ بنابراین یک لایه تکراری، ضخامت 10 نانومتری را نشان می‌دهد. ضخامت پایه زیر پیل میانی در QD MJSC برای حفظ یک ضخامت زیر پیل کلی $4 \mu\text{m}$ در مقایسه با ساختار کنترل کاهش می‌یابد.

اینگونه فرض می‌شود که تکنیک‌های تراز ایندومی و تونل‌زنی گرمایشی سریع امکان افزایش تعداد بالایی از لایه‌ها را با کیفیت مواد اولیه فراهم می‌آورند. یک چنین مدیریت کرنشی از الزام برای لایه‌های جبران کرنش برای مثال GaAp، که پتانسیلی سیری در رابطه با فرار حامل به خارج از QDs را افزایش خواهد داد، جلوگیری به عمل می‌آورد. اگرچه، تحقیقات بیشتری برای ارزیابی تأثیر یک چنین لایه‌ها بر دینامیک‌های لایه مورد نیاز خواهد بود. برای جزئیات بیشتر در مورد محیط مدل‌سازی عددی، ساختار از جمله پیوندهای تونلی و رسانه مؤثر QD، [4]، [5]، [9]، [11] و [12] را مشاهده کنید.

شکل 1(a) هندسه جزایر نانومتر اندازه InAS QD در بالای WL نازک را نشان می‌دهد که به واسطه روش رشد Stranski Krastanor رشد کرده است و شکل 1(b)، یک نمایش سیستماتیک از همترازی نوار انرژی در این سیستم را نشان می‌دهد که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد. سطح انرژی الکترونی محدود واحد مورد انتظار به واسطه بُعد این نقاط، در انطباق با یک انتقال انرژی حالت پایه واحد متمرکز شده در 920 نانومتر می‌باشد. QDs لنزی شکل براساس توزیع اندازه‌ها با شعاع میانگین به ترتیب با ارتفاع‌های $\bar{r} = 5/6 \text{ nm}$ و $\bar{h} = 0/6 \text{ nm}$ مدل‌سازی می‌شود و WL یک ضخامت $1/1$ نانومتری را دارا می‌باشد.

ضریب جذب این ساختارهای نانو با استفاده از سطوح انرژی بدست آمده به واسطه حل عددی معادله Schrodinger، براساس هندسه WL و QD ارائه شده بدست می‌آید. یک توزیع گودسین در سطوح انرژی پیاده‌سازی می‌شود. چگالی QD مدل‌سازی شده $125 \text{ QD} / \mu\text{m}^2$ می‌باشد، که با مقادیر ویژه در ادبیات قابل قیاس است. سطوح انرژی حالت پایه الکترونی و حفره QD، به عنوان سطوح پس زننده به ترتیب در بالا و پایین نوارهای رسانشی و والانس بر طبق یک توزیع گودسین در انرژی با همان عرض کامل در نیم ماکزیمم، در نتیجه، محاسبه ضریب جذب مدل‌سازی می‌شوند. اگرچه سطوح حفره چندگانه به دلیل جرم مؤثر بزرگتر وجود دارد، آن

فرض می‌کند که حفره‌ها سریعاً نسبت به حالت پایه به گونه‌ای ریلکس می‌شوند که تنها این سطح متناسب با فرایندهای باز ترکیبی می‌باشد.

علاوه بر این، تنها انطباق انرژی حالت پایه در ضریب جذب هم‌بخشی دارد، از آنجایی که انتگرال همپوشانی قویاً برای انتقال‌های $n \neq m$ کاهش می‌یابد. سطوح پس‌زننده به نسبت‌های باز ترکیبی SRH توده‌ای در رسانه مؤثر بر اساس برش مقطعی پس‌زننده $2-10-3\text{cm}$ (بر طبق هندسه QD) و یک تمرکز تله در انطباق با چگالی QD هر لایه اضافه می‌شوند. همچنین رسانه مؤثر، حداقل عمرهای حامل را برای فرایندهای باز ترکیبی (10ns) غیر رادیاتیو و (1ns) رادیاتیو و وزن‌داری بر اساس ملاحظات حجمی در بین رسانه مؤثر را در نظر می‌گیرند. حامل‌های مولد شده از نور در حالت‌های مقید ریز ساختارها باید نخست در بین حالت‌های غیر مقید، در هم‌بخشی نسب به جریان توده‌ای قطعه، به همان صورتی که در شکل (b) 1 نشان داده شد، فرار کنند.

فرایند غالب برای این فرار، پراکندگی نوری حامل - نوری در دمای اتاق می‌باشد. فرایند مخالف برای مثال گیراندازی حامل از حالت‌های توده‌ای به WL و متعاقباً به حالت‌های QD، باید همچنین مورد بحث قرار گیرد. این فرایندهای گیراندازی حامل در مقیاس‌های زمانی هزارم ثانیه رخ می‌دهند. یک سطح نیمه - Fermi جداگانه برای حالت‌های مقید برای توصیف مناسب تبادل بین جمعیت‌های حامل مقید و غیر مقید برای WL مورد نیاز می‌باشد. این نتایج را در یک مجموعه مکمل از معادلات پیوستگی برای حامل اقلیت انجام دهید.

اگرچه پیاده‌سازی این معادلات مکمل در Sentaurus Device، به ارزیابی بیشتر از حد تولید منجر می‌شود از آنجایی هیچ یک از نسبت‌های تولید در نظر گرفته شده در معادله پیوستگی، تمرکزهای حامل را نشان می‌دهند؛ به عبارت دیگر، تولید تنها برای جمعیت‌های حامل غیر مقید فرض می‌شود. در نتیجه، یک رویکرد جبران نوار مؤثر اتخاذ می‌شود. پراکندگی گرمایونی برای مدل‌سازی فرار حامل‌ها از WL به حالت‌های غیر مقید که به واسطه ارتفاع حامل بلقوه پارامتر بندی می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش از شکاف نواری و میل ترکیبی الکترون رسانه مؤثر برای کنترل رسانش و جبران‌های نوار والانس با توجه به لایه InGaAS فاصله‌گذار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یک فرض مدل این است که کل حامل‌های تولید شده نوری به واسطه WL گیراندازی می‌شوند. حامل‌های محدود به WL را می‌توان به واسطه مدل‌سازی حالت‌های نواری موجود سطوح انرژی QD یا فرار از محدودیت

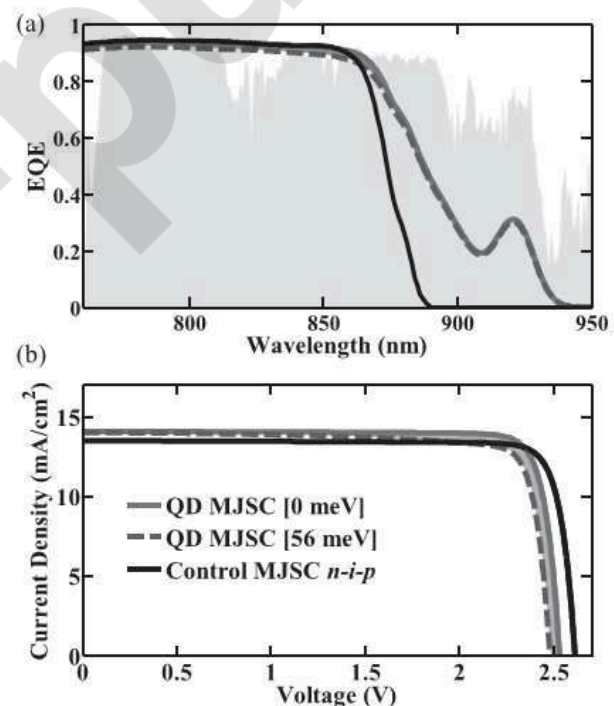
بلقوه WL گیراندازی کرد. سطوح متفاوتی از انحراف‌های نواری، نسبت‌های فرار متفاوت از WL را تقلید می‌کنند. شایان ذکر است که انحراف‌های نواری در مجموعه 7 meV، اختلاف انرژی شبیه‌سازی شده بین شکاف نواری InGaAS توده‌ای و حالت پایه WL براساس شبیه‌سازی‌های COMSOL Multiphysics سطوح انرژی را به نمایش می‌گذارند.

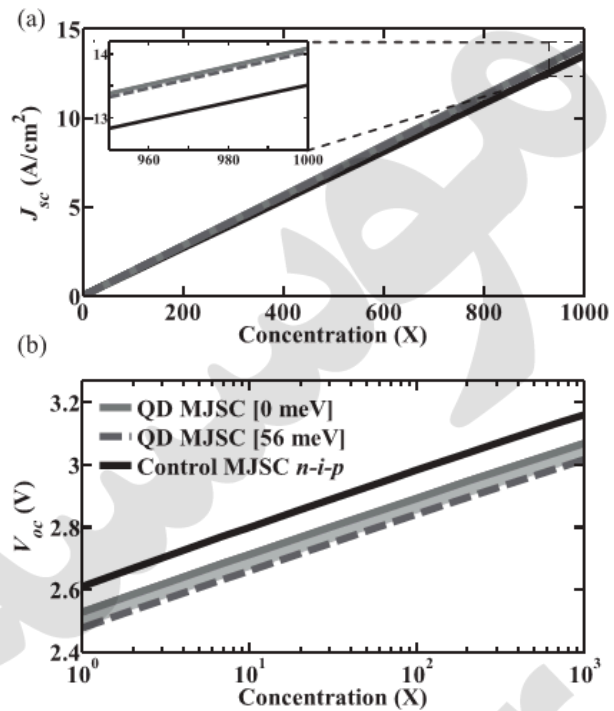
3- نتایج شبیه‌سازی

A- شرایط One-Sun:

در شکل 2، دمای اتاق شبیه‌سازی شده (a) EQE و (b) مشخصه‌های ولتاژ مدار (I-V) قطعه برای سناریوهای متفاوت انحرافات نواری را با فرض نمایش یکنواخت بر طبق طیف AM 1/50 در 300 k نشان می‌دهد.

شکل 2 (a) شبیه‌سازی EQE در دمای اتاق برای زیاد کردن QD در MJSC در حدود (اندازه) وسط زیر سلول خورشیدی InGaAs برای ترتیب‌های مختلف CBO و VBO بین 0 و 56 meV محدودده خاکستری تیره بیانگر محدوده بین انحراف یابد). هنجار شده با AM1.5D در طیف خورشید نشان داده شده خاکستری در زمینه (b) شبیه‌سازی مشخصه جریان و ولتاژ در خورشید ($1\text{kw}/\text{m}^2$) برابر است با ساختار کنترلی با یک زیر سلول با ترکیب n-i-p.





شکل 3 شبیه سازی (a) J_{sc} و (b) V_{oc} هستند بعنوان تابع ای از تمرکز برای 0، و 56meV انحراف باندهای موثر (و طرح مابین) اطلاعات شبیه سازی مقایسه شده با ساختار کنترل شده با ساختمان زیر سلول n-i-p بدون QD ها

شکل (a) 2، بازدهی کوانتومی ارتقاء یافته زیر پیل میانی برای انرژی‌های نوری زیر شکاف نوری InGaAs توده‌ای را نشان می‌دهد و بنابراین یک توزیع مجدد جریان از زیر پیل Ge پایین تا زیر پیل میانی مشاهده می‌شود. این به عنوان یک جریان نوری به طور کلی بالاتر نسبت به یک کنترل MJSC بدون QDS جبران می‌شود، که در شکل (b) 2 نشان داده می‌شود. به طور ایده‌آل، حامل‌ها به واسطه حالت‌های WL گیراندازی نمی‌شوند و کل حامل‌ها فرار می‌کنند، که این به عنوان ΩV انحرافات نواری مدل‌سازی می‌شود؛ و این سناریو هنوز عمرهای حامل اقلیت وزنداری را در انطباق با ساختارهای نانو اتخاذ می‌کند و بنابراین تأثیرات شکاف نواری پایین‌تر را تزویج‌زدایی کرده و نسبت‌های بار ترکیب به دلیل گیراندازی حامل افزایش می‌یابند.

مشخصه‌های I-V و EQE برای سناریو انحراف نواری ΩV بالاترین J_{sc} ، V_{oc} ، FE، و η را دارا هستند. از طرف دیگر، بدترین نوع سناریو، مشتمل بر انحرافات نواری مؤثری می‌شود که به سطوح انرژی QD حالت پایه در 920 نانومتر نائل می‌شوند. گستره انحرافات نواری بین ΩV بهترین مورد سناریو و ΩV - 56 بدترین مورد سناریو، به عنوان یک نوار خاکستری بر حسب مشخصه‌های J-V و EQE در شکل 2a و 2b،

مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالی که انحرافات نواری مؤثر افزایش می‌یابد، پاسخ پیل به طول موج‌های بین 700 و 890 نانومتر به دلیل نسبت‌های فرار کاهش یافته برای حامل‌های گیرانداخته شده به واسطه رسانه مؤثر QD کاهش می‌یابد.

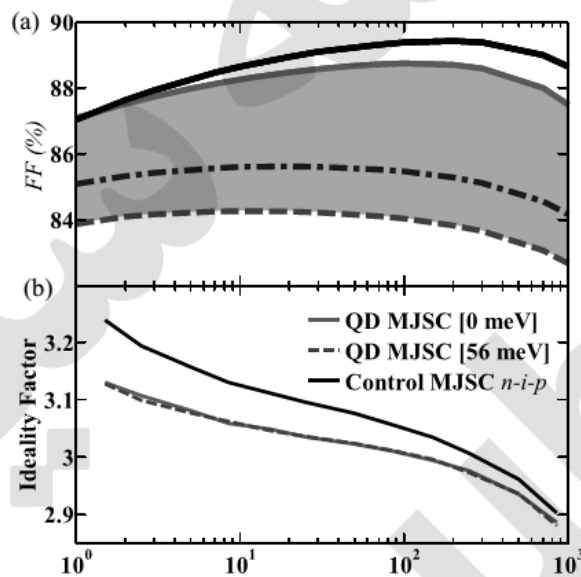
از سوی دیگر، پاسخ بری طول موج‌های مورد هدف به واسطه ساختارهای نانو به طور قابل توجهی به واسطه این انحرافات نواری تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. این نشأت گرفته از این حقیقت است که حامل‌های ایجاد شده در پتانسیل‌های محدود به سهولت در دمای اتاق فرار می‌کنند، حتی اگر بزرگترین انحرافات نواری در نظر گرفته شوند. در نتیجه، یک کاهش جزئی در جریان نوری، به عنوان تابعی از انحرافات نواری روبه افزایش، که در شکل 2(b) مشهود می‌باشد، مورد انتظار است. اگرچه، مهمترین تأثیرات انحرافات نواری روبه افزایش در FF و Voc آشکار می‌شود.

در حالی که انحرافات نواری افزایش می‌یابد، حامل‌ها به احتمال کمتر از پتانسیل‌های تحدید WL فرار می‌کنند، که این ولتاژهای بالاتر به دلیل وابستگی نمایی نسبت‌های باز ترکیب در ولتاژ مهم شود. به طور جالب توجهی، FF بیشتر از Voc کاهش می‌یابد، از آنجایی که دستگاه به طور کامل جریان تطبیقی برای انحرافات نواری بالاتر متوقف می‌کند: زیر پیل میانی یک Jsc پایین‌تر را نسبت به زیر پیل بالایی Jsc تا حدود 1٪ مطلق دارا می‌باشد. تأثیرات عدم انطباق جریان هنگامی واضح‌تر می‌شود که گرایش‌ها در سراسر تمرکز بررسی می‌شوند، این مسأله در بخش بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد. مقایسه‌ای بین CM و پیل‌های (CMM) غیر منطبق جریان به همان صورت ارائه می‌شود.

B. شرایط روشنایی متمرکز:

شبیه‌سازی‌های هدایت شده در سراسر تمرکز (X) در دمای ثابت (300k) در شکل 3 بر حسب (a) Jsc و Voc(b) ارائه می‌شوند. جریان نوری رابطه خطی مورد انتظار را به عنوان تابعی از تمرکز بدون تأثیرات بازگشت نوری نشان می‌دهد. کل سناریوهای انحراف نوار مؤثر، افزایش جریان نوری مشابهی را نشان می‌دهند. کنترل جریان نوری MJSC نسبت به Ome V QD MJSC تا 4/3٪ در سراسر کل گستره تمرکز کمتر است. شایان

ذکر است که اشباع سطوح انرژی در QDs، برای نمود در تمرکز فوق‌العاده بالا مورد انتظار است. به این دلیل است که QD MJSC در رژیم خطی، با ضریب جذب به منظور افزایش شدت‌های نوری ثابت باقی می‌ماند. شکل (b) نشان می‌دهد که V_{oc} به لحاظ لگاریتمی با افزایش تمرکز برای کل موارد، افزایش پیدا می‌کند. افت مطلق در V_{oc} برای QD MJSC نسبت به کنترل در Q سینوسی 1000 و 1 مشابه می‌باشد. سناریو انحراف نوار ΩV ، یک افت ولتاژ را به دلیل عمرهای حامل اقلیت پایین‌تر واسطه مؤثر، در مقایسه با InGaAs توده‌ای نشان می‌دهد؟ بدیهی می‌باشد که افزایش دامنه انحرافات نواری، به دلیل نسبت‌های فرار کاهش یافته به واسطه پتانسیل‌های WL عمیق‌تر افزایش پیدا می‌کند.



شکل 4 شبیه سازی (a) FF و (b) ضریب اندیشه بعنوان تابعی از تمرکز برای 0 تا 56meV از انحراف باند های موثر. اطلاعات شبیه سازی مقایسه شده با ساختار کنترل شده زیر سلول با ساختمان n-i-p بدون QD ها. ضریب اندیشه استخراج شده بکار رفته در شیب ولتاژ مدار باز بیشتر از تمرکز پایه معادله 1

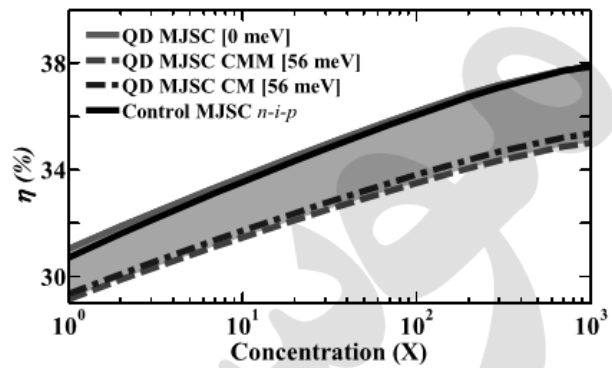
نسبت‌های فرار بنابراین به طور پیچیده‌ای به جریان تیره زیر پیل میانی متصل می‌شوند: کاهش نسبت‌های فرار، نسبت‌های باز ترکیب کلی را از طریق افزایش دوره‌های باز ترکیب در معادلات پیوستگی مکمل اضافه می‌کند. شکل 4 (a) FF و (b) فاکتور مطلوبیت را به عنوان تابعی از تمرکز نشان می‌دهد.

گرایش‌ها در FF، چند مصنوع ویژه از این طرح MJSC خاص برای مثال مقاومت سری‌ها و تأثیرات تطبیقی جریان را آشکار می‌کند. اولاً، کنترل FF، به لحاظ لگاریتمی در سراسر تمرکز بالاتر از 200 افزایش می‌یابد و سپس به دلیل مقاومت سری‌های $10 - m\Omega$ اتصال بالا، سیر صعودی پیدا می‌کند. ساختارهای QD MJSC، FF یک افت آرام مشابه را نشان می‌دهند. ثانیاً، افزایش انحرافات نواری به دلیل تغییر در انطباق جریان بین زیر پیل‌های میانی و بالا، قابل توجهی را بر FF دارد. برای انحرافات نواری زیر 20 me V ، زیر پیل‌های میانی و بالا، به قدر کافی CM هستند.

اگرچه، در حالی که انحرافات نواری فراتر از 20 me V افزایش می‌یابد، زیر پیل میانی شروع به محدود کردن جریان نوری کلی قطعه می‌کند، که این عمدتاً به عنوان یک افت در FF آشکار می‌شود. این تا حدی افت مطلق حدود 4٪ را بین سناریوهای بهترین مورد $O\text{-me V}$ و بدترین مورد 56-me V توصیف می‌کند. V_{oc} به عنوان تابعی از افزایش انحرافات نواری کاهش می‌یابد و همچنین با افت در FF هم‌بخشی دارد. تطبیق جریان، دستگاه را به طور ویژه بر طبق این سناریوی بدترین مورد انطباق می‌دهد و FF را تا 1/5٪ مطلق در Suns 1000 ارتقاء می‌بخشد که در شکل 4(a) برای یک CM MJSC در مقایسه با یک دستگاه CMM نشان داده می‌شود.

این ساختارها صرفاً به واسطه ضخامت پایه زیر پیل بالا متفاوتند و هر دو ماتریس‌های V_{oc} و J_{sc} خیلی مشابهی را دارا می‌باشند. گرایش جالب توجه دیگر، دو قسمتی شدن FF بین QD MJSC $O\text{-me V}$ و کنترل فراتر از 1 Sun می‌باشد. این دو قسمتی شدن به واسطه افزایش بزرگتر در V_{oc} در سراسر تمرکز کنترل MJSC مطرح می‌شود، که به واسطه فاکتور مطلوبیت بزرگتر کنترل در مقایسه با QD MJSC در شکل (5) 4 نشان داده می‌شود. فاکتور مطلوبیت به واسطه شیب V_{oc} در سراسر تمرکز براساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \log(X) + V_{oc}(X=1). \quad (1)$$



شکل 5 شبیه سازی راندمان η بعنوان تابعی از تمرکز X که اطلاعات شبیه سازی مقایسه شده با ساختمان کنترل شده زیر سلول با ساختار $n-i-p$ بدون QD ها.

فاکتورهای مطلوبیت به واسطه شکل (b) 4 در انطباق با آنهایی هستند که برای ساختارهای مشابه بدست می آیند. فاکتور مطلوبیت بزرگتر کنترل عمدتاً نشأت گرفته از باز ترکیب SRH قوی می باشد که در منطقه تخلیه زیر پیل میانی کنترل رخ می دهد، در حالی که باز ترکیب تابشی، منطقه تخلیه در QD MJSC در Voc را نشان می دهد. اگرچه، افزایش در Voc در سراسر تمرکز، برای هر ساختار مشابه می باشد، کنترل یک فاکتور مطلوبیت نزدیک تر به $n = 3/3$ را در 1 Sun در مقایسه با QD MJSC داراست که به $n = 3/15$ نزدیک تر است. این تأثیر فاکتور مطلوبیت را به FF در سراسر تمرکز نشان می دهد. تفاوت در فاکتور مطلوبیت برای کل دستگاهها، در تمرکز بالاتر قابل چشم پوشی می باشد، از آنجایی که FF به واسطه مقاومت سری هایی غالب می شود، که در هر دستگاه بررسی شده مشابه می باشد.

در 1000 Suns، بازدهی ها نسبتاً مشابه هستند، اگرچه انتظار می رود که دماهای عملیاتی واقعی، برای QD MJSC در سراسر کنترل MJSC مزیتی را با ارتقاء نسبتهای فرار حامل ها از WL و QDS ارائه می کنند. زیر پیل میانی ارتقاء یافته به انرژی های نوری زیر شکاف نواری InGaAs توده ای واکنش نشان می دهد، بنابراین یک روش مهندسی شکاف نواری MJSC برای فراهم آوردن جریان نوری دستگاه در کل بالاتر، فراهم می شود. این برای طرح های MJSC امکان کنترل بیشتر تأثیرپذیری پیل نسبت به شرایط طیفی خاص را فراهم می آورد، که به موقعیت جغرافیایی و تأثیرات مطرح شده به واسطه تابع انتقال نور متمرکز ساز وابسته می باشد.