

جدول: ساختار سلول خورشیدی سه پیوندی III-V با ترتیب کامل لایه‌ها

لایه (از بالا به پایین)	ماده	ضخامت تقریبی	توضیحات
پوشش ضد انعکاس (ARC) ^۱	MgF ₂	۷۰-۱۰۰ nm	کاهش بازتاب نور، افزایش جذب
لایه پنجره	GaInP دوپینگ کم یا بدون دوپینگ	۱۰-۲۰ nm	لایه شفاف، با باند گپ بزرگ
امیتر بالایی	GaInP دوپینگ n 1e18cm ⁻³	۱۰۰-۲۰۰nm	جذب نور پر انرژی، لایه فعال بالا
بیس بالایی	GaAs، دوپینگ P 1e17cm ⁻³	۱-۲um	جذب نور متوسط انرژی
دیود تونلی	نواحی n ⁺ , p ⁺ با دوپینگ خیلی بالا	۵۰-۳۰nm	اتصال بین سلول‌ها، انتقال سریع حامل‌ها
امیتر میانی	GaAs دوپینگ n 1e18cm ⁻³	۱۰۰-۲۰۰nm	جذب طیف میانی
بیس میانی	GaInAs دوپینگ n 1e17cm ⁻³	۱-۲um	جذب نور کم انرژی
دیود تونلی دوم	نواحی n ⁺ , p ⁺ با دوپینگ خیلی بالا	۵۰-۳۰nm	اتصال لایه‌های میانی و پایین
امیتر پایینی	Ge دوپینگ n 1e18cm ⁻³	۱۰۰-۲۰۰nm	جذب نور طول موج بلند
بیس پایینی	Ge دوپینگ P 1e17cm ⁻³	۵-۱۰ um	ناحیه فعال پایین سلول
لایه پشتی	فلز (آلومینیوم، طلا یا...)	چند میکرومتر	الکتروپشتی

ویژگی شبیه‌سازی سلول خورشیدی GaInP/GaAs/Ge

هدف یا خروجی مورد انتظار	آنچه باید یاد بگیریم	بخش آموزشی
توانایی تعریف پروژه از صفر و اجرای اولین شبیه‌سازی	شناخت ماژول‌ها DeckBuild، Atlas، DevEdit، TonyPlot و نحوه ساخت فایل ورودی (.inp)	۱. آشنایی با محیط نرم‌افزار
ساخت مدل دقیق سلول سه پیوندی GaInP/GaAs/Ge مطابق جدول ساختاری پروژه	تعریف لایه‌ها با پارامترهای: جنس، ضخامت، نوع و غلظت دوپینگ، ترتیب زیرسلول‌ها، تماس‌ها، ARC و passivation	۲. تعریف ساختار سلول
بررسی مکانیزم‌های بازترکیب، رسانش و تونل‌زنی	اعمال مدل‌های فیزیکی SRH، Auger، Bandgap، Radiative، Mobility models، narrowing	۳. مدل‌های فیزیکی و نوری
استخراج Spectral Response و Quantum Efficiency (QE, IQE)	اعمال شرایط تابش AM1.5 یا طیف فضایی، تعریف ضریب جذب، انعکاس، لایه ضد بازتاب، محاسبه جذب نوری در هر زیرسلول	۴. تنظیم مدل نوری (Optical model)

^۱ Anti-Reflective Coating

محاسبه و استخراج پارامترهای Voc ؛ Jsc ، FF ، η بازده)	تنظیم bias sweep، محاسبه J-V در حالت روشن و تاریک	۵. شبیه سازی پاسخ الکتریکی در حالت نرمال
به دست آوردن ظرفیت خازنی، جریان نشی، مقاومت سری و شنت	شبیه سازی C-V و Dark I-V	۶. تحلیل پارامترهای الکتریکی ثانویه
مقایسه خروجی های سلول سالم و تابیده شده (ΔVoc)، ΔJsc ، $\Delta \eta$ ، تغییر در (dark current)	افزودن (Trap levels) defect states، کاهش carrier lifetime یا افزایش defect density برای شبیه سازی تابش های الکترونی/پروتونی	۷. شبیه سازی اثر تابش
تحلیل پایداری حرارتی و اثر دما بر بازده	تنظیم دمای کاری) مثلاً شرایط مدار (LEO و مشاهده تغییر عملکرد	۸. تحلیل حرارتی و دمایی
پیدا کردن ترکیب بهینه برای مقاومت تابشی و بیشینه بازده	تغییر ضخامت، دوپینگ یا ترتیب زیرسلول ها و مشاهده تأثیر آن ها بر پارامترهای خروجی	۹. بهینه سازی ساختار
تولید خروجی های علمی برای مقاله و گزارش فنی (J-V)، QE ، Efficiency vs Dose)	کار با TonyPlot، خروجی عددی، ترسیم نمودارها و مقایسه نتایج	۱۰. استخراج و ارائه نتایج

خروجی هایی که باید بگیریم:

دسته خروجی ها	نمونه پارامترها / نمودارها
پارامترهای نوری	QE ، IQE ، جذب نوری هر زیرسلول، طیف عبوری از ARC، Reflectance
پارامترهای الکتریکی اصلی	Efficiency، Jsc ، Voc ، J-V curve، FF
پارامترهای تشخیصی	Dark I-V، C-V، مقاومت سری و شنت، leakage current
تحلیل اثر تابش	تغییر در Jsc ، Voc ، Efficiency قبل و بعد از تابش، نمودار degradation
تحلیل ساختاری و دمایی	تأثیر ضخامت، دما، یا تغییر material composition بر بازده نهایی

۱. مدلسازی پاسخ الکتریکی سلول های تابیده شده با استفاده از نرم افزار Silvaco TCAD، شامل تحلیل ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، بازده تبدیل انرژی، جریان نشی، ظرفیت خازنی و ضریب پرتشنگی و بازده کوانتومی خارجی

۲. طراحی ساختاری سلول خورشیدی (از جمله ضخامت لایه‌ها، ترتیب زیرسلول‌ها، پسیواسیون سطح، و استفاده از لایه‌های ضد بازتاب) چه نقشی در افزایش مقاومت تابشی و به حداقل رساندن افت عملکرد دارد؟

در پایان کلاس می‌خواهم مسلط بر شبیه سازی سلول خورشیدی و گرفتن پارامترهای الکتریکی و نوری سلول مربوطه شوم.