شماره بایگانی ۲۰۰۷۴۳
تاریخ صدور ۹۷/۸/۲۲

آموزش جامع نرم‌افزار Scaps

ترجمه وتالیف:

دکترمعراج رجایی

عضو هیات علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

نگین بابانواز

www.ketab.ir

سرشناسه	:	رجایی، معراج، ۱۳۶۰
عنوان و نام پدیدآور	:	آموزش جامع نرم‌افزار scaps ترجمه و تالیف معراج رجایی، نگین بابانواز
مشخصات نشر	:	تهران: دانشگاه فنی و حرفه‌ای، ۱۳۹۶
مشخصات ظاهری	:	۱۶۰ص: مصور
شابک	:	978-600-8820-07-9
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	نرم‌افزار اسکپس
موضوع	:	SCAPS(Computer software)
موضوع	:	پیل‌های خورشیدی -- شبیه‌سازی کامپیوتری -- نرم‌افزار
موضوع	:	Solar cells-- Computer simulation -- Software
شناسه افزوده	:	بانواز، نگین، ۱۳۷۵
شناسه افزوده	:	دانشگاه فنی و حرفه‌ای
رده بندی کنگره	:	TK۵۱۰۵/۵۹ ۳۹۶آ۳۸
رده بندی دیویی	:	۵/۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۰۶۶۵۵۶

عنوان کتاب	:	Comprehensive Gguide of SCAPS آموزش جامع نرم‌افزار Scaps
ترجمه و تالیف	:	دکتر معراج رجایی- نگین بابانواز
ناشر	:	دانشگاه فنی و حرفه‌ای
سال و نوبت چاپ	:	۱۳۹۶ / چاپ اول
شمارگان	:	۵۰۰ نسخه
قیمت	:	۷۵۰۰ تومان
شابک	:	ISBN:978-600-8820-07-9 ۹۷-۶۰۰-۸۸۲۰-۰۷-۹

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه فنی و حرفه ای محفوظ است.

آدرس: تهران- میدان ونک- خیابان برزیل شرقی- پلاک ۴

دانشگاه فنی و حرفه‌ای تلفن:۴۲۳۵۰۰۰۰ -۰۲۱

پست الکترونیک :Entesharat@tvu.ac.ir ، وب سایت Tvu.ac0ir

www.ketab.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار ۷

فصل اول : **نحوه‌ی نصب و راه‌اندازی برنامه** ۱

فصل دوم :**آغاز به کار با** SCAPS ۵

۱.۲ مقدمه ۵

۳.۲ تعریف نقطه کار ۷

۲. ۴ انتخاب اندازه‌گیری موردنظر برای انجام شبیه‌سازی ۷

۵.۲ نحوه‌ی محاسبه ۸

۶.۲ نمایش منحنی‌های شبیه‌سازی شده ۹

۲ .۷ مثالی از منحنی‌های I V ۱۰

۸.۲ اصلاح یک‌لایه ۱۲

۹.۲ معرفی کلید Batch set- up ۱۲

۱۰.۲ معرفی کلید Recorder set-up ۱۴

فصل سوم: **تعریف سلول‌های خورشیدی** ۱۵

۱.۳ اصلاح ساختار یک سلول خورشیدی ۱۵

۲.۳ اتصالات ۲۱

۳.۳ ضخامت لایه ۲۴

۴.۳ درجه‌بندی لایه‌ها ۲۵

۱.۴.۳ وابستگی دمایی پارامترها ۲۶

۲.۴.۳ درجه‌بندی ۲۷

۳.۴.۳ تشریح روش‌های درجه‌بندی ۲۹

www.ketab.ir

۱.۳.۴.۳ درجه‌بندی ترکیب به روش uniform ۲۹
۴.۴.۳ درجه‌بندی پارامتر ۳۰
۱.۴.۴.۳ درجه‌بندی پارامترهای وابسته به مکان ۳۰
۵.۴.۳ درجه‌بندی ترکیب از یک فایل ۳۱
۶.۴.۳ برون‌یابی بین داده‌ها ۳۲
۵.۳ ضریب جذب نوری ۳۳
۶.۳ نتایج درجه‌بندی پارامترهای وابسته به مکان ۳۵
۷.۳ ذخیره‌ی مواد ۳۶
۳. ۸ بارگذاری مواد ۳۷
۳,۹ نکاتی درباره‌ی درجه‌بندی ۳۸
۱۰.۳ بازترکیب ۴۰
۱۱.۳ اضافه کردن نقص‌ها ۴۱
۳. ۱۱. ۱ نقص‌های چند ظرفیتی ۴۲
۳. ۱۱. ۲ نقص ذاتی ۴۳
۳.۱۱.۳نقص‌هایی دارای بیش از دو حالت بار ۴۳
۴.۱۱.۳ توزیع انرژی سطوح نقص ۴۵
۵.۱۱.۳ اثر ناخالصی فتوولتائیک (IPV) ۴۷
۱۲.۳ انتقال نقص شبه‌پایدار ۴۷
۳. ۱۲. ۲ معرفی یک نقص شبه‌پایدار در برنامه ۴۷
۳.۱۲.۳ تنظیمات خصوصیات شبه‌پایدار ۴۹
۴.۱۲.۳ تنظیمات عددی ۴۹
۱۳.۳ فصل‌های مشترک ۵۰
۱۴.۳ تونل‌زنی ۵۰

www.ketab.ir

۳. ۱۴. ۱ تنظیمات عددی تونل‌زنی ۵۳
۳. ۱۵ بروز مشکل در نمایش پنل ها ۵۴
۱۶.۳ امکان ذخیره‌سازی و بارگذاری تعاریف مسائل ۵۴
فصل چهارم : **تعریف نقطه‌ی کار، مقاومت سری و هدایت موازی. Error! Bookmark not defined.**
۱.۴ مقدمه ۵۷
۲.۴ شرایط روشنایی ۵۸
۳.۴ تنظیمات generation ۵۹
۳.۴ مدل‌های generation و spectrum ۶۰
۱.۳.۴ مدل نوری نرم‌افزار ۶۰
۲.۳.۴ مدل‌های تحلیلی generation و spectrum ۶۲
۳.۳.۴ پنل SCAPS Model ۶۴
۴.۳.۴ مدل‌های generation ۶۵
۱.۴.۳.۴ مدل ثابت generation (G) ۶۵
۲.۴.۳.۴ مدل نمایی کاهشی $G(x)$ ۶۵
۳.۴.۳.۴ مدل گاوسی (Gaussian Generation Profile) ۶۶
۴.۴.۳.۴ مدل مستطیلی (Rectangular Generation Profile) ۶۶
۵.۴.۳.۴ مدل مستطیلی دنباله دار (Rectagular Generation Profile with tail) ۶۶
۵.۳.۴ مدل‌های spectrum ۶۶
۴.۴ نقطه‌ی کار اولیه ۶۷
۵.۴ هدایت موازی و مقاومت سری ۶۸
فصل پنجم : محاسبات Single Shot ۷۱
۲.۵ تنظیمات شبیه‌سازی single shot ۷۵

www.ketab.ir

۳.۵ پارامترهای عددی ۷۶
۴.۵ محدودیت‌های عددی ۷۷
فصل ششم : تحلیل نتایج ۷۹
۱.۶ جست‌وجوی نتایج ۷۹
۲.۶ اطلاعات منحنی و علائم و اختصارات ۸۰
۳.۶ تحلیل نتایج پنل‌ها ۸۰
۱.۳.۶ تحلیل پنل Energy Bands ۸۰
۲.۳.۶ تحلیل نتایج پنل generation-recombination ۸۱
۳.۳.۶ تحلیل نتایج پنل $I-V$ ۸۲
۴.۳.۶ تحلیل نتایج پنل ac ۸۲
۵.۳.۶ تحلیل نتایج پنل $C-V$ ۸۳
۱.۵.۳.۶ پنل Admittance (capacitance) analysis ۸۳
۶.۳.۶ تحلیل نتایج پنل $C-f$ ۸۴
۷.۳.۶ تحلیل نتایج پنل QE ۸۵
۸ .۶,۳ تحلیل نتایج پنل Manage measurements ۸۶
۴.۶ ساختار یک فایل measurement ۸۶
۱.۴.۶ شرایط نقطه‌ی کار ۸۶
۵ .۶ داده‌ی measurement ۸۸
۶.۶ ذخیره‌سازی ۸۹
۷.۶ توضیح یک مثال مفهومی از تحلیل نمودارها ۹۳
فصل هفتم : محاسبات دسته‌ای ۹۷
۱.۷ پنل batch set-up ۹۷

www.ketab.ir

۱.۱.۷ تنظیمات مقادیر پارامترها ۹۸
۲.۷ تغییر فایل‌های defenition ۹۹
۳.۷ تغییر پارامترهای شرایط اولیه‌ی نقطه‌ی کار ۹۹
فصل هشتم : محاسبات recorder ۱۰۱
۱.۸ تنظیمات ۱۰۱
۲.۸ محاسبات ۱۰۲
۳.۸ تحلیل نتایج ۱۰۳
فصل نهم : برازش منحنی ۱۰۳
۱.۹ مقدمه ۱۰۳
۲.۹ تنظیمات ۱۰۴
۳.۹ تحلیل نتایج ۱۰۶
فصل دهم : برنامه‌نویسی ۱۰۹
۱.۱۰ فایل script ۱۰۹
۲.۱۰ اجرای برنامه‌های دیگر در SCAPS ۱۱۰
۱.۲.۱۰ کتابخانه‌های مرتبط ۱۱۰
۳.۱۰ ویرایشگر script ۱۱۰
۴.۱۰ زبان برنامه‌نویسی SCAPS ۱۱۱
۱.۴.۱۰ مقدمه ۱۱۱
۲.۴.۱۰ دستورات Load ۱۱۲
۳.۴.۱۰ دستورات Save ۱۱۴
۴.۴.۱۰ دستورات Action ۱۱۵
۵.۴.۱۰ دستورات Clear ۱۱۸

www.ketab.ir

۱۰.۴.۶ دستورات Set ۱۱۹
۱۰.۴.۷ دستورات Get ۱۲۷
۱۰.۴.۸ دستورات Math ۱۳۳
۱۰.۴.۹ دستورات LOOP ۱۳۸
۱۰.۴.۱۰ دستور Show ۱۳۹
۱۰.۴.۱۱ دستورات plot ۱۴۰
۱۰.۴.۱۲ دستورات calculate ۱۴۰
۱۰.۴.۱۳ دستورات run ۱۴۱
۱۰.۴.۱۳.۱ اجرای SCAPSUserFunction.dll ۱۴۱
۱۰.۴.۱۳.۲ اجرای دستورات یک سیستم در یک script ۱۴۲
۱۰.۴.۱۳.۳ اجرای یک script در script دیگر ۱۴۲

www.ketab.ir

پیشگفتار

درحالی‌که استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای در علوم مهندسی در حدود نیم‌قرن پیش شروع‌شده است، تنها در دهه گذشته نظریه و فناوری شبیه‌سازی اثر عظیمی روی رشته‌های علوم پایه و مهندسی گذاشته است.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری، اجازه کندوکاو رویدادهای طبیعی و سیستم‌های مهندسی شده که امکان تحلیل طولانی و اندازه‌گیری تجربی را داشته و دارای معیار و منطق‌های تجربی هستند را می‌دهد. در حقیقت، فرض‌های تجربی با مدل‌های محاسباتی مبتنی بر علوم جایگزین خواهند شد. مدل‌سازی و شبیه‌سازی، به‌طور وسیعی توانایی در پیشگویی نتایج و بهینه‌سازی راه‌حل‌ها، قبل از اختصاص منابع در طراحی‌ها و تصمیم‌گیری‌های معین، بهبود خواهد بخشید. مدل‌سازی و شبیه‌سازی، توانایی در حل مسائلی که به روش‌های سنتی بسیار پیچیده بوده‌اند، ازجمله مسائلی که شامل سیاس‌های چندگانه طول و زمان، فرآیندهای فیزیکی چندگانه و سطوح ناشناخته هستند را گسترش می‌دهد.

شبیه‌سازهای فرآیند فیزیکی ساختارهایی را پیش‌بینی می‌کند که حاصل از مراحل مشخصی از فرآیند هستند. این کار توسط درک راه‌های حل‌کننده معادلات توصیف‌کننده فیزیک و شیمی فرآیندهای نیمه‌هادی‌ها صورت می‌پذیرد. شبیه‌ساز فیزیکی سه مزیت اصلی را به همراه دارد: قابل پیش‌بینی است، دید می‌دهد و اطلاعات ساختاری را به‌صورت ارائه می‌دهد که برای افراد غیرحرفه‌ای قابل‌فهم است. مدل‌های تجربی نمی‌توانند این قابلیت‌های قابل پیش‌بینی را فراهم کند یا اطلاعات نظری را ارائه دهد. شبیه‌سازی فیزیکی راهی برای آزمایشات به‌عنوان منبعی از داده است. مدل کردن تجربی می‌تواند ارائه به‌هم‌پیوسته‌ای از داده از هر منبعی را فراهم کند. شبیه‌سازی فیزیکی به دو علت بسیار موردتوجه قرارگرفته است. اول اینکه، معمولاً همیشه بسیار سریع‌تر و ارزان‌تر از عملکرد آزمایش است. دوم این‌که اطلاعاتی را فراهم می‌کند که اندازه‌گیری آن سخت یا غیرممکن است. نرم‌افزارهایی که هم‌اکنون در بازار موجودند اگرچه قوی هستند اما عملکرد آن‌ها نیازمند داشتن یک مهارت و درک بسیار بالا از سوی کاربر می‌باشد تا نتایج قابل قبولی در حالت‌های پیچیده به دست آورد. دقت این نرم‌افزارها توسط محققین زیادی مورد تائید قرارگرفته است. پیچیدگی معادلات حاکم برمسئله، تأثیر متغییرهای فیزیکی مختلف، گذرا بودن اغلب مسائل مهندسی، بالا بودن هزینه‌های مربوط به تجهیزات دانشگاهی و محدودیت‌های استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری در بسیاری از کاربردهای عملی ازجمله دلایلی هستند که استفاده از روش‌های تحلیلی و آزمایشگاهی را در مقایسه با روش‌های عددی محدود می‌کند. یکی

www.ketab.ir

از نرم‌افزارهای موجود درزمینه‌ی شبیه‌سازی، نرم‌افزار SCAPS یا Solar cell Capacitance Simulator می‌باشد SCAPS، یک نرم‌افزار شبیه‌ساز تک‌بعدی سلول‌های خورشیدی می‌باشد که در دپارتمان سیستم‌های الکترونیکی و اطلاعات (ELIS) دانشگاه Gent بلژیک ساخته‌شده است. دانشمندان زیادی ازجمله Alex Niemegeers، Marc Burgelman، Johan Verschraegen، Koen Decock و Stefaan Degrave در ساخت و ایجاد این برنامه نقش داشته‌اند. درواقع این برنامه برای شبیه‌سازی انواع سلول‌های خورشیدی مناسب می‌باشد و پارامترهای موردنیاز برای شبیه‌سازی را می‌توان بر اساس شرایط آزمایشگاهی تغییر داد. امکاناتی که این برنامه در اختیار کاربر قرار می‌دهد به شرح زیر است:

در این کتاب سعی شده است تا نحوه‌ی نصب برنامه به زبانی ساده، همراه با تصاویر قسمت‌های مختلف آن ارائه شود. هم‌چنین این برنامه در کامپیوترهای شخصی که از ویندوزهای ۹۵، ۹۸، NT، ۲۰۰۰، XP، Vista و Seven و ۸ و ۱.۸ و ۱۰ پشتیبانی می‌کنند قابل‌نصب و اجرا می‌باشد. برنامه‌ی SCAPS تقریباً ۱۰ مگابایت از حافظه‌ی دیسک را اشغال می‌کند. به طور کلی نرم افزار SCAPS یک بعدی دارای امکانات و ویژگی هایی که به طور خلاصه در زیر آورده شده اند پشتیبانی می کند:

۱. امکان محاسبات برای حداکثر ۷ لایه نیمه رسانا،
۲. متغیرسازی همه پارامترها به طور مثال گاف نواری، چگالی حامل‌ها و تمامی خواص الکتریکی و اپتیکی نیمه‌رسانا.
۳. مکانیزم بازترکیب: حالت‌های Auger و SRH-type .
۴. سطح نقص‌ها: در خود نیمه‌رسانا و هم‌چنین سطح تماس آن‌ها، بار و همچنین بازترکیب برای آن‌ها قابل بررسی است.
۵. سطح نقص‌ها و توزیع انرژی: توزیع انرژی می‌تواند به صورت تک سطح، یکنواخت، گاوسی، حالت tail، و یا ترکیبی در نظر گرفته شود.
۶. سطح نقص‌ها و خواص نوری: تحریک مستقیم با تابش نور (اثر فتوولتائیک ناخالصی)
۷. سطح نقص‌های پایدار: گذار بین پذیرنده (نیم‌رسانا نوع p) و دهنده (نیم‌رسانا نوع n) برای نقص‌های پایدار شناخته شده به عنوان مثال در سلول خورشیدی CIGS.
۸. اطلاعات اتصالات فلزی پشت و جلو (رسانا)، تابع کار (حالت اتصال شاتکی) و یا حالت باند تخت (حالت اتصال اهمی)؛ فیلترهای نوری و خواص بازتاب و عبور آن‌ها.
۹. اثر تونل‌زنی: تونل‌زنی داخل باند (در نوار رسانش و یا در یک نوار ظرفیت). تونل‌زنی و شکل‌گیری حالت‌های سطح تماس.
۱۰. تولید: که هم به صورت پیش فرض و هم به صورت فایل می توان تعریف نمود.

www.ketab.ir

۱۱. تعریف تابش: طیف‌های متغیر و استاندارد از نور خورشید (AM0، AM1.5D، AM1.5G، AM1.5Gedition2، تک‌رنگ، سفید و ...) که این تابش از هر دو سمت از طرف نیمه‌رسانا نوع P یا ازطرف نیمه‌رسانا N نوع می‌تواند باشد .

۱۲. نقطه کار برای محاسبات: ولتاژ، فرکانس، دما.

۱۳. محاسبه نوارهای انرژی، غلظت و جریان که در یک نقطه کار داده می‌شود، استخراج نتایج $J-V$ ، $C-f$ ، $C-V$ ، QE برای سلول خورشیدی،

۱۴. محاسبات به صورت چند متغیرسازی و تابع‌سازی از آن‌ها،

۱۵. بارگیری و ذخیره تمام تنظیمات. داشتن محیط کدنویسی متناسب با زبان C.

۱۶. لینک شدن از طریق محیط کد نویسی به محیط هایی مانند متلب و...

۱۷. امکان لود فایل‌های نتایج تجربی و فیت کردن بسیار دقیق منحنی‌های تجربی و تئوری از طریق متغیرسازی کمیت‌ها.

مطابق آنچه که از قابلیت های این برنامه گفته شد،کتاب حاضر در ۹ فصل گردآوری شده است:

در فصل اول، چگونگی مراحل نصب و راه‌اندازی برنامه همراه با تصویر نشان داده‌شده است.

در فصل دوم، مبانی و اصول اولیه و مفاهیم آغاز به کار با SCAPS و آشنایی با پنل اولیه‌ی نرم‌افزار و چگونگی تعریف مسئله، تعریف پارامترها و اصلاح مسئله موردبحث قرارگرفته است.

در فصل سوم، به تعریف سلول‌های خورشیدی و مدل‌سازی آن‌ها و چگونگی معرفی آن‌ها به برنامه پرداخته‌شده است که مهم‌ترین فصل این کتاب به شمار می‌رود و نیازمنداست کاربران زمان مناسبی در اختیار مطالعه‌ی و فراگیری این فصل قرار دهند.

در فصل چهارم، نحوه‌ی تعریف نقطه‌ی کار و پارامترهایی که بر اندازه‌گیری‌های مختلف وابسته هستند شرح داده‌شده است.

در فصل پنجم، توانایی SCAPS در حل معادلات نیمه‌هادی و روش رسیدن به یک‌راه حل و مسیر محاسبات و محدودیت‌های عددی موردبررسی قرارگرفته است.

در فصل ششم، چگونگی تحلیل نتایج حاصل‌شده از شبیه‌سازی را مفصلاً شرح داده است.

در فصل هفتم، به بررسی ویژگی‌های حالت دسته‌ای برای بررسی اثر تعداد بیشتری از پارامترها را بر خصوصیات سلول خورشیدی می‌پردازد.

در فصل هشتم، در ارتباط با امکان مشاهده و ثبت تمامی نقاط اندازه‌گیری و مراحل شبیه‌سازی مباحث مختصری مطرح‌شده است.

در فصل نهم، اهمیت ایجاد تناسب بین منحنی‌ها و اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی موردبحث قرارگرفته است.

www.ketab.ir

و در پایان در فصل دهم، کدها و نحوه ی برنامه نویسی به زبان c در SCAPS گردآوری‌شده است. مجموعه‌ی حاضر، ترجمه‌ی آخرین نسخه‌ی SCAPS Manual December 2016 می‌باشد و ازتعدادی مقاله در این باب برای تفهیم و ایجاد درک عمیق تر و بیشتر از مباحث استفاده شده است. امید است این کتاب مورداستفاده دانشجویان و دانش‌پژوهان علاقه‌مند به کسب علم درزمینه‌ی سلول‌های خورشیدی قرار گیرد.

www.ketab.ir