

مواد مهندسی برق

(مطابق با سرفصل‌های درس موادشناسی برق)

سید احمد مرتضوی نیر

مدرس دانشگاه جامع علمی - کاربردی

سرشناسه	: مرتضوی نیر، سید احمد، ۱۳۵۸-
عنوان و نام پدیدآور	: مواد مهندسی برق / سید احمد مرتضوی نیر
مشخصات ناشر	: تهران: سرونگار، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۱۹۵ ص.-: مصور، جدول، نمودار
شابک	: ۱-۰۳-۶۳۱۶-۶۰۰-۹۷۸: ۸۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: واژه نامه
موضوع	: برق- مهندسی- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: برق- مهندسی- مواد صنعتی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱ م۴/TK۴۵۳
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۰۲۸
شماره کتاب شناسی ملی	: ۲۹۷۶۸۶

انتشارات سرونگار

www.sarvnegar.com

تلفن انتشارات: ۰۹۱۲۳۴۹۱۷۱۵ و تلفن پخش: ۰۱۵-۰۶۶۵۶۶۵۱-۰۲۱

مواد مهندسی برق

تألیف: سید احمد مرتضوی نیر

ویراستار فنی: صبا مصلحی

طراح جلد: محسن محمدخواه

چاپ و صحافی: حمزه ای

چاپ نخست: پاییز ۱۳۹۱

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

بها: ۸۰۰۰۰ ریال

ISBN: 976-600-6316-03-1

شابک: ۱-۰۳-۶۳۱۶-۶۰۰-۹۷۸

کلیه حقوق چاپ برای مؤلف محفوظ است.

فهرست

پیش گفتار	۹
۱ ماهیت مواد	۱۱
۱-۱- ساختمان اتم	۱۱
۲-۱- انواع عناصر	۱۴
۳-۱- پیوند اتم ها	۱۵
۴-۱- جامدات بلوری	۱۸
۵-۱- ساختار بلورها	۲۳
۱-۵-۱- ساختار بلوری فلزات	۲۵
۲-۵-۱- بلورهای یونی	۲۷
۳-۵-۱- شبکه‌ی الماسی	۲۸
۶-۱- ماهیت رسانایی مواد	۲۹
۲ مواد هادی	۳۳
۱-۲- ویژگی‌های فلزات	۳۴
۱-۱-۲- فلزات گروه ۱ عناصر نمونه	۳۶
۲-۱-۲- فلزات گروه ۲ عناصر نمونه	۳۷
۳-۱-۲- فلزات گروه ۳ عناصر نمونه	۳۷
۴-۱-۲- فلزات گروه ۴ عناصر نمونه	۳۸
۵-۱-۲- فلزات واسطه	۳۸
۲-۲- هادی‌های فلزی	۳۹
۳-۲- ساختمان اجزاء مدارات الکتریکی	۴۲
۱-۳-۲- ساختمان مقاومت ها	۴۲
۲-۳-۲- ساختمان خازن ها	۴۵

- ۳-۳-۲- ساختمان سلف ها ۵۰
- ۴-۲- مواد هادی مورد استفاده در صنعت ۵۲
- ۲-۴-۲- مس و آلیاژهای آن ۵۲
- ۲-۴-۲- آلومینیوم ۵۲
- ۳-۴-۲- مواد هادی مورد استفاده در ماشین های الکتریکی ۵۳

۳ مواد عایق ۵۵

- ۱-۳- ماهیت مواد عایق ۵۶
- ۲-۳- انواع مختلف عایق ها ۵۸
- ۱-۲-۳- عایق های جامد ۵۸
- ۱-۱-۲-۳- عایق های سرامیکی ۵۸
- ۲-۱-۲-۳- عایق های چینی ۵۹
- ۳-۱-۲-۳- عایق های کامپوزیتی ۶۰
- ۴-۱-۲-۳- سیلیکون ۶۱
- ۲-۲-۳- عایق های مایع ۶۲
- ۱-۲-۲-۳- روغن های معدنی ۶۲
- ۲-۲-۲-۳- روغن ترانسفورماتور ۶۲
- ۳-۲-۳- عایق های گازی ۶۳
- ۱-۳-۲-۳- گاز هگزا فلوراید گوگرد ۶۳
- ۲-۳-۲-۳- گازهای نجیب ۶۵
- ۳-۳- عایق های مورد استفاده در صنعت برق ۶۶
- ۱-۳-۳- عایق های مورد استفاده در ترانسفورماتورها ۶۶
- ۲-۳-۳- عایق های مورد استفاده در ماشین های الکتریکی ۶۹

۴ مواد نیمه هادی ۷۳

- ۱-۴- عناصر نیمه هادی ۷۴
- ۲-۴- نیمه هادی های ذاتی ۷۵
- ۱-۲-۴- ساختار بلوری نیمه هادی ها ۷۷
- ۱-۱-۲-۴- روش های ساخت بلورهای نیمه هادی ۷۹
- ۲-۲-۴- بلور سیلیسیم ۸۰
- ۱-۲-۲-۴- ایجاد الکترون آزاد و حفره ۸۱

۸۲.....	۲-۲-۲-۴- باز ترکیب
۸۴.....	۳-۲-۴- جریان الکتریکی در نیمه‌هادی‌های ذاتی
۸۶.....	۴-۲-۴- مقاومت نیمه‌هادی‌ها
۸۷.....	۳-۴- نیمه‌هادی‌های غیر ذاتی
۹۲.....	۴-۴- اتصال P-N
۹۵.....	۱-۴-۴- بایاس مستقیم دیود
۹۶.....	۱-۴-۴- بایاس معکوس دیود
۹۷.....	۱-۲-۴-۴- جریان‌های بایاس معکوس
۹۸.....	۱-۲-۴-۴- شکست دیود
۱۰۱.....	۵ مواد مغناطیسی
۱۰۲.....	۱-۵- ماهیت مغناطیسی مواد
۱۰۳.....	۱-۱-۵- انواع مواد از نظر مغناطیسی
۱۰۸.....	۲-۵- میدان مغناطیسی
۱۰۸.....	۱-۲-۵- کمیت‌ها و قوانین مربوط به مدارهای مغناطیسی
۱۰۸.....	۱-۱-۲-۵- چگالی شار مغناطیسی
۱۰۹.....	۲-۱-۲-۵- شار
۱۰۹.....	۳-۱-۲-۵- نیروی محرکه‌ی مغناطیسی
۱۱۰.....	۴-۱-۲-۵- شدت میدان مغناطیسی
۱۱۰.....	۵-۱-۲-۵- مقاومت مغناطیسی
۱۱۱.....	۶-۱-۲-۵- نفوذپذیری مغناطیسی
۱۱۲.....	۲-۲-۵- رابطه‌ی بین B و H در مواد
۱۱۷.....	۳-۵- ویژگی‌های مواد مغناطیسی
۱۱۸.....	۱-۳-۵- هیستریزس
۱۲۴.....	۲-۳-۵- تلفات هسته
۱۳۲.....	۳-۳-۵- مواد مغناطیسی با بلورهای جهت‌دار
۱۳۴.....	۴-۳-۵- انتخاب مواد مغناطیسی نرم
۱۳۶.....	۴-۵- مواد مغناطیسی دائم
۱۴۲.....	۱-۴-۵- آهن‌رباهای آلیاژی
۱۴۳.....	۲-۴-۵- فری‌مغناطیس‌ها و آهن‌رباهای فرینی

- ۱۴۶ ۵-۴-۳ آهن رباهای خاکی کمیاب
 ۱۴۷ ۵-۴-۴ انتخاب مواد مغناطیسی دائم

۶ مواد کمکی در صنعت برق ۱۴۹

- ۱-۶- مواد مورد استفاده در پیل های الکتریکی ۱۵۰
 ۲-۶- مواد مورد استفاده در لحیم کاری ۱۵۳
 ۱-۱-۶- لحیم ۱۵۳
 ۲-۲-۶- روغن لحیم کاری ۱۵۵
 ۳-۶- فیبرهای مدار چاپی ۱۵۷
 ۴-۶- مواد مورد استفاده در سرکابل ها و مفصل بندی ۱۵۸

منابع ۱۶۳

- پیوست الف: آحاد ۱۶۸
 پیوست ب: ضرایب مواد ۱۷۴
 پیوست ج: جدول سیم ها ۱۷۸
 پیوست د: تقسیم بندی استاندارد مواد عایق ۱۷۹
 پیوست ه: ویژگی های مواد نیمه هادی ۱۸۱
 پیوست و: منحنی های B-H مواد فرومغناطیس ۱۸۳
 پیوست ز: ویژگی های مواد مغناطیسی نرم ۱۸۷
 واژه نامه ۱۹۱

پیش گفتار

تمامی دستگاه‌ها و وسایل الکتریکی و الکترونیکی اطراف ما از موادی ساخته شده‌اند که شناخت آن‌ها برای دانشجویان رشته‌های برق و یا محققین و شاغلان در این صنعت از جنبه‌های مختلفی مفید و بعضاً ضروری است. این مواد را از زوایای مختلفی می‌توان بررسی کرده و دست‌بندی نمود ولی از آن‌جا که ویژگی‌های رسانایی و مغناطیسی آن‌ها مهم‌ترین دلیل استفاده‌شان در دستگاه‌ها و وسایل الکتریکی و الکترونیکی است، در کتاب پیش رو مواد مورد استفاده در صنعت برق، بیشتر، از این دو دیدگاه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

فصل اول کتاب، معرفی مدل‌های ساده‌ای است که برای توصیف اتم‌ها و مولکول‌های سازنده‌ی مواد و همچنین ساختار جامدات به کار رفته است. در حقیقت، این فصل پیش‌درآمدی است بر شناخت کلی مواد تا در فصول بعد، با شناختی بهتر از درون آن‌ها، عملکردشان مورد بررسی قرار گیرد.

اصلی‌ترین ویژگی مواد مورد استفاده در صنعت برق، رسانایی آن‌هاست؛ فصل‌های دوم تا چهارم کتاب به توصیف خصوصیات مواد مختلف از این دیدگاه اختصاص یافته است: مواد هادی، عایق و نیمه‌هادی. از آن‌جا که مواد نیمه‌هادی، شالوده‌ی اصلی قطعات و افزاره‌های الکترونیکی هستند، مطالعه‌ی این فصل به درک بهتری از طرز کار المان‌های ساده‌ی الکترونیک مانند دیودها و ترانزیستورها می‌انجامد و لذا مطالعه‌ی آن به دانشجویان رشته‌های مهندسی برق دیگر دانشگاه‌ها نیز توصیه می‌گردد.

در فصل پنجم کتاب به بررسی مواد مورد استفاده در صنعت برق از دیدگاه دوم، یعنی خصوصیت‌های مغناطیسی پرداخته شده است. مباحث این فصل، خصوصاً برای طراحی ماشین‌های الکتریکی مانند موتورها و ژنراتورها و انتخاب مواد مغناطیسی مناسب برای رسیدن به ویژگی‌های مطلوب مناسب‌اند.

کارکرد دسته‌ای از مواد، مانند آن‌چه در باتری‌ها و یا سیم لحیم استفاده شده

است، ارتباط چندانی به ویژگی‌های رسانایی یا مغناطیسی آن‌ها ندارد؛ بنابراین، چنین موادی در فصل جداگانه‌ای تحت عنوان «مواد کمکی در صنعت برق» مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالب کتاب حاضر براساس سرفصل‌های مصوب دانشگاه جامع علمی- کاربردی گردآوری، تألیف و تدوین شده است و نتیجه‌ی چندین سال تدریس درس «مواد شناسی برق» در دانشگاه مذکور می‌باشد؛ درسی که جای خالی آن در برنامه‌ی درسی رشته‌های مهندسی برق دیگر دانشگاه‌ها احساس می‌شود. از کتب و نوشته‌های مختلفی برای نگارش این کتاب یاری جسته شده و مطالبی نیز عیناً از متون مذکور در این کتاب آمده است. فهرست این منابع در انتهای کتاب آورده شده و جا دارد در این مجال قدردانی و تشکر خویش را از نویسندگان یا مترجمین متون یاد شده اعلام دارم. از مسئولین دانشگاه جامع علمی- کاربردی، مرکز آموزش پارس الکترونیک، به‌خاطر همکاری صمیمانه‌شان در مدارک برای تدریس دوره‌های متوالی این درس تشکر و قدردانی می‌نمایم.

و در انتها از دوستان صمیمی و یاران همیشگی‌ام که ویرایش فنی و طراحی جلد این کتاب را عهده‌دار بودند، «سرکار خانم دکتر مصلحی» و «جناب آقای مهندس محمدخواه»، تشکر ویژه دارم.

سید احمد مرتضوی نیر

چهارم آبان ۱۳۹۱