

طراحی اجزای سیستم‌های الکترومکانیکی در مقیاس میکرو و نانو

۱۵۷۷۴۸۹

دکتر جواد اکبری

عضویت علمی دانشگاه صنعتی شریف

رضا مسعودی نژاد



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

طراحی اجزای سیستم‌های میکروسیستمی در مقیاس میکرو و نانو
تألیف جواد اکبری، رضا مسعودی‌نژاد
ناشر: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۴

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۱۲۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، محفوظ است.

ISBN 978-964-208-142-4

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۴۲-۴

تلفن: ۶۶۱۶۴۰۷۰-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۳-۶۶۱۶۴۰۷۴-۶۶۱۶۴۰۷۵

دفتر مرکزی: خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب- خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت)- ساختمان ۲۵۳ - طبقه چهارم- واحد ۴۰۲

پست الکترونیکی: publishing@sharif.edu

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

www.fardabook.com

یادداشت: واژه‌نامه.

موضوع: سیستم‌های میکروالکترومکانیکی.

موضوع: میکرو تکنولوژی

شناسه افزود: مسعودی‌نژاد، رضا

شناسه افزود: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۴ ۷۸۷۵/لف ۷۸۷۵.TK

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۲۸۲۲

شماره کتابشناسی ملی: ۳۹۷۲۵۹۸

سرشناسه: اکبری، جواد، ۱۳۳۶.

عنوان و نام‌پیدا: طراحی اجزای سیستم‌های میکرومکانیکی در مقیاس میکرو

و نانو/تألیف جواد اکبری، رضا مسعودی‌نژاد.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی،

۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۳۳۰ ص. ج. مصور، جدول.

شابک: 978-964-208-142-4

وضعیت فهرست نویسی: فیا.

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

پیشگفتار

هفت

فصل ۱. مواد و ساختار، ر مقیاس میکرو و نانو

۱-۱ مقدمه

۲-۱ تبدیل فاز در مقیاس میکرو

۳-۱ مواد زیستی و پلیمری

۴-۱ مومسانی

۵-۱ مدل میدان فاز نانوذرات

مراجع

فصل ۲. فیزیک در مقیاس های کوچک

۱-۲ مقدمه

۲-۲ فیزیک کوچک سازی

۳-۲ کوچک سازی سیستم های الکترومغناطیس

۴-۲ کوچک سازی سیستم های مکانیکی

۵-۲ کوچک سازی سیستم های گرمایی

۶-۲ کوچک سازی سیستم ها در تحلیل های شیمیایی

مراجع

فصل ۳. ملاحظات طراحی سیستم ها در مقیاس میکرو و نانو

۱-۳ مقدمه

۲-۳ خواص مواد و ملاحظات هندسی

۳-۳ ملاحظات طراحی میکروماشین ها

۴-۳ کاربردها

۵۸	۵-۳ مکانیسم شکست در سیستم‌های میکروالکترومکانیکی
۶۰	مراجع

۶۳	فصل ۴. ملاحظات طراحی ساختارهای الاستیک در MEMS/NEMS
۶۳	۱-۴ مقدمه
۶۳	۲-۴ مثال‌هایی از ساختارهای الاستیک در MEMS/NEMS
۶۸	۳-۴ جرم و فنر
۷۹	۴-۴ تیرهای الاستیک
۸۳	۵-۴ صفحه‌های الاستیک
۸۷	۶-۴ حسگر فشار خازنی
۸۹	مراجع

۹۱	فصل ۵. طراحی سیستم‌های حرارتی - الاستیک
۹۱	۱-۵ مقدمه
۹۲	۲-۵ دستگاه‌ها و پدیده‌های موجود در سیستم‌های حرارتی الاستیک
۹۷	۳-۵ مدل سیستم‌های ترموپوستاتیک
۱۰۷	۴-۵ مروری بر میله ترموالاستیک
۱۰۷	۵-۵ مدل‌سازی ترموالاستیک عملگرهای ترانزیستور
۱۱۱	۶-۵ مدل عملگر بیمرف حرارتی
۱۱۴	مراجع

۱۱۷	فصل ۶. طراحی سیستم‌های الکتروستاتیک - الاستیک
۱۱۷	۱-۶ مقدمه
۱۱۷	۲-۶ مدل جرم و فنر
۱۲۸	۳-۶ مدل کلی سیستم‌های الکتروستاتیک - الاستیک
۱۳۲	۴-۶ تئوری پوسته برای سیستم‌های الکتروستاتیک - الاستیک
۱۴۰	۵-۶ تئوری تیر و صفحه برای سیستم‌های الکتروستاتیکی - الاستیک
۱۴۱	۶-۶ تحلیل طرح‌های کنترل خازنی
۱۴۷	مراجع

۱۴۹	فصل ۷. طراحی سیستم‌های با محرک مغناطیسی
۱۴۹	۱-۷ مقدمه
۱۵۰	۲-۷ دستگاه‌های محرک مغناطیسی

۱۵۴	۳-۷ مدل‌های جرم و فنر
۱۵۸	۴-۷ مدل میکروپمپ با پوسته ثابت
۱۶۰	۵-۷ مدل نسبت منظر کوچک
۱۶۷	مراجع

۱۷۱	فصل ۸. حسگرهای فشار
۱۷۱	۸-۱ مقدمه
۱۷۱	۸-۲ فشار و فیزیک اعمال آن
۱۷۵	۸-۳ انواع حسگرهای فشار
۱۷۵	۸-۴ حسگرهای فشار بر پایه دیافراگم
۱۸۱	مراجع

۱۸۵	فصل ۹. میکرو حسگرهای MEMS-IDT
۱۸۵	۹-۱ مقدمه
۱۸۵	۹-۲ شتاب‌سنج‌های اینرسیایی
۱۸۷	۹-۳ ساخت یک شتاب‌سنج MEMS-IDT
۱۹۱	۹-۴ آزمایش شتاب‌سنج MEMS-IDT
۲۰۱	۹-۵ بازخوانی بی‌سیم
۲۰۳	۹-۶ شتاب‌سنج‌های هیبریدی و ژيروسکوپ‌ها
۲۰۵	مراجع

۲۰۷	فصل ۱۰. نگاهی مختصر بر میکروشتاب‌سنج‌ها
۲۰۷	۱۰-۱ مقدمه
۲۰۷	۱۰-۲ میکروشتاب‌سنج‌ها و محاسبه شتاب
۲۱۴	مراجع

۲۱۵	واژه‌نامه انگلیسی - فارسی
۲۱۷	واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
۲۱۹	فهرست راهنما

پیشگفتار

ضرورت موجدسازی مجموعه‌های مرکب از حسگر، پردازنده، و عملگر و یکپارچه‌سازی آنها روی یک تراشه، جگر به ابداع ریزترین ساخته‌های بشری به‌نام «سیستم‌های میکروالکترومکانیکی» شده است. به این ترتیب، یک تراشه کوچک‌تر از میلی‌متری قادر است همزمان محیط اطراف خود را حس کند، سیگنال‌های حس شده را در درون همان تراشه پردازش کند و سپس عملگری درون همان تراشه، بیشتر از میلی‌متری را برای انجام کاری خاص فعال کند. طراحی و ساخت چنین مجموعه‌هایی با هم‌افزایی علوم و مهندسی‌های مختلفی نیازمند است و ضرورت ایجاد یک تخصص بین‌رشته‌ای، راه حل چنین مسائلی را ایجاب می‌کند. علوم و فناوری‌های نانو در دهه اخیر در کشورمان بسیار مورد توجه و حمایت سیاست‌گذاران علم و فناوری قرار گرفته است. این رویکرد باعث شد که توانایی‌های نظری و تجربی کشور به یکباره بدون توقف در دنیای محصولات میکرونی، به سمت جهان مهندسی و فناوری معطوف شود و توان خود را صرف آن نماید. اما دنیای محصولات میکرونی برای کشورهای صنعتی پیشرفته که بیش از ۵۰ سال بر فناوری ساخت ترانزیستور و مدارهای مجتمع و تراشه‌های میکرونی مسلط شده بودند، دنیای ناشناخته‌ای نبود و حاصل آن ساخت انواع سیستم‌های میکروالکترومکانیکی از قبیل میکروپمپ‌ها، میکروشتابگرها و میکروگریپرها شد و این محصولات با قیمت مناسب وارد بازار گردید. محصولاتی که هر روز از آن استفاده می‌کنیم از قبیل گوشی تلفن همراه، چاپگرهای جوهرافشان، دستی‌های بازی‌های کامپیوتری و دستگاه‌های تست قند خون در منزل، به‌طور انبوه و با قیمت کم تولید شده‌اند و حجم بزرگی از واردات کشورمان را تشکیل می‌دهند. با توجه به ضرورت آشنایی مهندسان و دانشجویان مهندسی مکانیک کشورمان با اصول علمی این محصولات و تخصص بین‌رشته‌ای، چه برای آنان که می‌خواهند در چنین زمینه‌ای ادامه تحصیل دهند و چه آنهایی که به دنبال طراحی و ساخت چنین ریزتراشه‌هایی هستند، این کتاب تألیف شد.

این کتاب به طور مختصر مبانی طراحی سیستم‌های ریزمیکرونی و نانویی را به خواننده ارائه می‌کند. از آنجایی که فیزیک و مکانیک مقیاس‌های کوچک با تجرب حس انسان در جهان ماکرو متفاوت است، ابتدا اشاره‌ای به تفاوت پدیده‌های فیزیکی در دنیای ریزترها شده است. سپس در فصول بعدی ملاحظات طراحی سیستم‌ها در مقیاس‌های میکرو و نانو از جنبه‌های مقاومت مصالحی، حرارتی، الکتروستاتیکی و مغناطیسی معرفی شده‌اند. در فصول انتهایی کتاب نیز به کاربردها و چند نمونه از محصولات این ریزفناوری نگاه تخصصی شده است. پیشاپیش از تمامی خوانندگان محترم کتاب که دیدگاه‌های اصلاحی خود را برای رفع ایرادات کتاب در چاپ‌های بعدی در اختیار ما قرار می‌دهند تشکر و قدردانی می‌شود.

جواد اکبری

رضا مسعودی‌نژاد

تهران، تابستان ۱۳۹۴

akbari@sharif.edu

masoudinejad@stu.um.ac.ir