

۱۳۸۵۳۶۱

شماره:

درآمدی بر میکرو تکنولوژی نیمه هادیها (مدارهای مجتمع)

تألیف: مورگان و بورد

چاپ دوم

ترجمه

دکتر علیرضا صالحی

سرشناسه	: مورگان، دی. وی. Morgan, D. V.
عنوان و نام پدیدآور	: درآمدی بر میکرو تکنولوژی نیمه هادیها (مدارهای مجتمع) // تالیف مورگان، بورد؛ ترجمه علیرضا صالحی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: سیزده، ۲۷۱ ص.: مصور، نمودار.
شابک	: ۱۷۰۰۰۰ ریال 978-600-7867-11-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: An introduction to semiconductor microtechnology, 2nd ed. 1990
یادداشت	: واژه نامه.
موضوع	: نیمه هادی ها -- طرح و ساختمان
شناسه افزوده	: بورد، کی.
شناسه افزوده	: Board, K.
شناسه افزوده	: صالحی، علیرضا، ۱۳۳۵ -، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. انتشارات
رده بندی کنگره	: TK۷۸۷۱/۸۵/م۸۵۴ ۱۲۶۲
رده بندی دیویی	: ۶۳۰/۳۸۱۵۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۰۳۸۷۰۰

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی <http://publication.kntu.ac.ir>

نام کتاب: درآمدی بر میکرو تکنولوژی نیمه هادیها (مدارهای مجتمع)

مؤلف: مورگان، بورد

مترجم: دکتر علیرضا صالحی عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: آبان ۱۳۹۴

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۱۷۰۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۹۷

ISBN: 978- 600-7867-11-2

شابک: ۹۷۸- ۶۰۰-۷۸۶۷-۱۱-۲

چاپ: پدیدرنگ

صحافی: گرنامی

آدرس و تلفن مرکز پخش و فروش: خیابان ولیعصر (عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان (۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

فهرست

پیشگفتار مترجم	هشت
پیشگفتار نویسندگان	ده
لیست نمادها	یازده
فصل ۱ توسعه تکنولوژی نیمه هادی	۱
اهداف آموزشی	۱
سؤالات خودآزمایی	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ امتیازات مجتمع	۲
۳-۱ سطوح مجتمع	۴
۴-۱ مشکل اندازه های بزرگ	۵
۵-۱ عملیات گروهی یک مدار مجتمع	۸
مسائل	۱۴
فصل ۲- مواد ادوات نیمه هادی	۱۶
اهداف آموزشی	۱۶
سؤالات خود آزمایی	۱۶
۱-۲ مقدمه	۱۷
۲-۲ تصفیه و رشد کریستال	۱۸
۳-۲ آماده سازی پولک	۳۵
۴-۲ زدایش شیمیایی	۴۰
مسائل	۴۰

فصل ۳- آرایش ناخالصی در نیمه هادیها	۴۶
اهداف آموزشی	۴۶
سؤالات خودآزمایی	۴۶
۳-۱ مفاهیم اصلی	۴۷
۳-۲ واگردانی نوع	۶۰
۳-۳ نفوذ اتمی	۶۲
۳-۴ آرایش به روش کاشت یون	۶۹
مسائل	۸۳

فصل ۴- فیلمهای عایق روی نیمه هادیها	۸۵
اهداف آموزشی	۸۵
سؤالات خودآزمایی	۸۵
۴-۱ مقدمه	۸۶
۴-۲ انواع اکسیدهای سطحی	۸۷
۴-۳ سیستمهای عملی اکسیداسیون	۸۹
۴-۴ مکانیسمها و قواعد طراحی برای فیلمهای SiO_2	۹۱
۴-۵ اثرات دیگر در پروسه اکسیداسیون	۹۶
۴-۶ ارزیابی کیفیت فیلم	۹۹
۴-۷ انتخاب نوع فیلم	۱۰۰
۴-۸ فیلمهای نیتريد	۱۰۱
۴-۹ فیلمهای پلی سیلیسیوم	۱۰۳
مسائل	۱۰۳

فصل ۵- نقش نگاری نوری	۱۰۵
اهداف آموزشی	۱۰۵
سؤالات خودآزمایی	۱۰۵

۱۰۶	۱-۵ مقدمه
۱۰۹	۲-۵ انواع فتورزیست
۱۱۱	۳-۵ ضخامت فیلم
۱۱۳	۴-۵ ماسک و ساخت ماسکها
۱۱۶	۵-۵ تنظیم ماسک
۱۱۷	۶-۵ نقش نگاری پرتو الکترونی
۱۱۹	مسائل
۱۲۰	فصل ۶-۱: نشانی، اتصالات و بسته‌بندی
۱۲۰	اهداف آموزشی
۱۲۰	سؤالات خودآزمایی
۱۲۲	۱-۶ مقدمه
۱۲۲	۲-۶ لایه‌نشانی فیلم فلزات
۱۲۵	۳-۶ آبکاری فلزات
۱۲۸	۴-۶ سیستم فلزنشانی
۱۳۰	۵-۶ محافظت سطح و نازک کردن پولک
۱۳۲	۶-۶ برش، نصب و سیم‌بندی
۱۴۱	مسائل
۱۴۳	فصل ۷- ساخت ادوات و عناصر مدار
۱۴۳	اهداف آموزشی
۱۴۳	سؤالات خودآزمایی
۱۴۴	۱-۷ مقدمه
۱۴۴	۲-۷ پیوندهای ساده pn
۱۵۰	۳-۷ ترانزیستورهای دو قطبی
۱۵۴	۴-۷ ترانزیستور اثر میدانی پیوندی (JFET)

۱۵۵	۵-۷ ترانزیستور اثر میدانی فلز - نیمه‌هادی (MESFET)
۱۵۸	۶-۷ ادوات فلز - اکسید - نیمه‌هادی (MOS)
۱۶۱	۷-۷ ادوات با بار همبسته
۱۶۲	۸-۷ عناصر غیر فعال مدار - رثوستاها و خازنها
۱۶۷	۹-۷ IC های گالیوم آرسنیک
۱۶۹	۱۰-۷ ساختار ادوات خاص
۱۷۰	مسائل

۱۷۳	فصل ۸- تک‌کمان MOS، دو قطبی و کاربرد آنها
۱۷۳	اهداف ارزشی
۱۷۳	سؤالات خودآزمایی
۱۷۴	۸-۱ خانواده تکنولوژی
۱۸۱	۸-۲ پروسه NMOS با بیت سالیسیل
۱۸۳	۸-۳ پروسه دو قطبی
۱۸۶	۸-۴ مجتمع یک مدار تجاری
۱۹۲	۸-۵ استفاده از CAD در طراحی VLSI
۱۹۳	مسائل

۱۹۴	فصل ۹- توسعه آتی میکرو تکنولوژی نیمه هادیها
۱۹۴	اهداف آموزشی
۱۹۴	سؤالات خودآزمایی
۱۹۵	۹-۱ تکنولوژی: وضعیت کنونی این فن
۱۹۸	۹-۲ توسعه آتی تکنولوژی
۲۱۰	مسائل

۲۱۲	پیوست‌ها
۲۱۲	۱- روشهای ارزیابی مواد و ادوات
۲۲۷	۲- زدایش متداول برای سیلیسیوم
۲۲۹	۳- زدایش متداول برای گالیم آرسنیک
۲۳۰	۴- ریاضیات نفوذ و کاشت یون
۲۳۹	۵- اکسیداسیون حرارتی سیلیسیوم
۲۴۲	۶- مطالعات اضافی
۲۴۴	واژه‌نامه انگلیسی
۲۵۸	واژه‌نامه فارسی

پیشگفتار مترجم

میکرو تکنولوژی نیمه هادیها از جمله مباحث بسیار مهمی است که برای دانشجویان رشته الکترونیک از ویژگی خاصی برخوردار است. میکرو تکنولوژی نیمه هادیها در سالهای اخیر جزء لاینفک زندگی بشر شده است، از وسایل ساده کامپیوتری گرفته تا تجهیزات بسیار پیچیده ماهواره های فضائی بدون تکنولوژی نیمه هادیها نمی توانست به صورت کنونی توسعه یابد. زمینه برای توسعه نیمه هادیها بسیار گسترده می باشد و امروزه در تمام آزمایشگاههای دانشگاهی و صنعتی جهان در مورد مواد نیمه هادی و ادوات منتج از آنها تحقیقات وسیعی انجام می شود. کتاب حاضر که ترجمه کتاب "An Introduction to Semiconductor Microtechnology" است، جزء کتب درسی بسیاری از دانشگاههای انگلستان می باشد که برای دانشجویان کارشناسی رشته الکترونیک تدریس می شود. این کتاب مباحث بنیادی و اساسی مربوط به طراحی مدارهای مجتمع، ساخت، آزمون ادوات نیمه هادیها از جمله پیوندهای pn، ترانزیستورها و نیز مدارهای مجتمع VLSI و ULSI را به نحو بسیار مطلوبی مطرح کرده است و می تواند به عنوان کتاب مرجع در درس فیزیک الکترونیک و همچنین مباحث مربوط به درس VLSI در دانشگاههای ایران مورد استفاده قرار گیرد. یکی از محاسن این کتاب که آن را از کتب دیگر در این زمینه متمایز می سازد، وجود تصاویر متعدد و جالبی است که بدینوسیله نویسندگان آن مفاهیم مربوط به تکنولوژی نیمه هادیها را به طور کشانده اند. بعضی از موضوعات این کتاب را نیز می توان در کارشناسی ارشد الکترونیک مورد استفاده قرار داد.

با توجه به تمامی این نکات، مترجم بر آن است که این کتاب را به دستداران علم میکروالکترونیک بخصوص دانشجویان و کارشناسان این رشته در ایران تقدیم نماید. مترجم با یکی از نویسندگان کتاب (پروفسور مورگان) همکاری داشته و در زمینه تکنولوژی میکروالکترونیک چندین مقاله در مجله های بین المللی مشترکاً به چاپ رسانده اند. بنابراین امید است که توانسته باشد با وفاداری به متن اصلی و دقتی که در ترجمه داشته است، سهم کوچکی در حل بسیاری از سؤالات مربوط به میکرو تکنولوژی نیمه هادیها که برای دانشجویان تا کنون روشن نبوده است، ایفاء نماید.

در پایان از تمام همکاران محترم و همچنین دانشجویان عزیز و علاقمندان به این رشته در سراسر کشور استدعا دارد که مترجم را از نظرات و پیشنهادات خود بهره مند نمایند و باعث

خرسندی است که اشتباهات احتمالی موجود در کتاب را (که از نظر مترجم دور مانده‌اند) اعلام کنند.

در نهایت از همسر فرزانه‌ام که نهایت سعی و تلاش خود را در تسریع ترجمه این کتاب بکار بردند، تشکر و قدردانی صمیمانه می‌نمایم.

دکتر علیرضا صالحی

تهران - پاییز ۱۳۷۹

www.ketab.ir

پیشگفتار نویسندگان

کمتر افرادی در کشورهای صنعتی پیدا می‌شوند که تحت تأثیر توسعه مبهوت‌کننده میکرو تکنولوژی نیمه هادیها که در دو دهه گذشته به وقوع پیوست، قرار نگرفته باشند. این توسعه، تأثیرات بسزایی در فعالیتهای کاری و تفریحی اکثر مردم گذاشته است. امروزه اصطلاحاتی مثل روبات، پردازش صوت و بازیهای الکترونیکی از اصطلاحات رایج به شمار می‌روند. این نوآوریها برای مهندس متخصص الکترونیک پیام‌آور انقلاب عمده‌ای در شیوه کار، کاهش شدید هزینه، اندازه و مصرف انرژی بوده است. با این سابقه ذهنی، این کتاب - درآمدی بر مبحث میکرو تکنولوژی نیمه هادیها - در درجه اول به عنوان «اولین عرضه» نوشته شده است. [در این کتاب] حداقلی ریاضیات به کار گرفته شده است تا، متن مناسبی برای تعداد زیادی از شغریان که مایلند با بعضی از اصول اساسی و پایه‌ای این تکنولوژی بسیار مهم آشنا شوند، فراهم آید. فصل ۱ در ضمن معرفی نمودن بعضی از مفاهیم اساسی مورد نیاز، مقدمه‌ای بر توسعه میکرو تکنولوژی را ارائه می‌کند. فصل ۲ رشد و آماده‌سازی مواد نیمه‌هادی را مورد توجه قرار می‌دهد. در فصل ۳ پروسه آلایش و واگردانی نوع همراه با تشریح تکنولوژیهای دهگانه نفوذ و کاشت یون مطرح می‌شود. فصل ۴ به اکسیداسیون، فصل ۵ به پروسه نقش‌نگاری نوری و فصل ۶ به فلزگذاری، اتصالات، سیم‌بندی می‌پردازد. در فصلهای ۷ و ۸ ساختار و پروسه عناصر مدار (فصل ۷) و مدارهای مجتمع مورد توجه قرار می‌گیرد. فصل پایانی یعنی فصل ۹ تأملی بر روند آتی میکرو تکنولوژی نیمه هادیها است.

نویسندگان مایلند که مراتب تشکر خود را از تمام مؤلفان، ناشران و شرکتهایی که اجازه دادند داده‌های آنها تکثیر و تعدیل شود، از دکتر وود و پروف. ودا (دانشگاه کُرِنِل) برای تبادل نظر تشویق‌کننده در موضوع تکنولوژی نیمه هادیها، ابراز نمایند.

دی - وی - مورگان دانشگاه ولز - کاردیف
کی - بُرد دانشگاه ولز - سوانزی

لیست نمادها

B	شدت میدان مغناطیسی
C	ظرفیت (خازن)
C_f	فاکتور تصحیح برای کاوه ۴ نقطه‌ای
c	سرعت نور
D	ضریب نفوذ ناخالصی
D_0	ضریب نفوذ ماده اکسید در SiO_2 ، ضریب نفوذ در $T \rightarrow \infty$
d	عمق پیوند
E_a	انرژی فعال‌سازی نفوذ
E_g	انرژی شکاف باند
E_s	انرژی شکل‌گیری یک فضای تهی (تهی جا)
E_1	انرژی فعال‌سازی ماده اکسید نفوذ کنند در SiO_2
E_r	انرژی فعال‌سازی واکنش برای ایجاد SiO_2
F	شدت میدان الکتریکی
F_f	شار ماده اکسید
F_i	شار ماده اکسید در فصل مشترک SiO_2
F_0	شار ماده اکسید از میان SiO_2
f	برآیند نیرو در باربر
I, I_x, I_y, I_z	جریان و مؤلفه‌های کارتری آن
K_1, K_2	ثابت‌های مربوط به پروسه اکسیداسیون حرارتی
k	ثابت بولتزمن
k_i	ثابت نرخ واکنش‌پذیری در پروسه اکسیداسیون حرارتی
m^*	جرم مؤثر باربر (حفره‌ها m_h^* ، الکترون‌ها m_e^*)
N	تراکم ماده اکسید، تراکم ناخالصی
N_A	تراکم پذیرنده‌ها
N_D	تراکم دهنده‌ها

N_i	تراکم ماده اکسید در فصل مشترک
N_m	مولکولهای SiO_2 در واحد حجم
N_s	تراکم ماده اکسید در سطح اکسید
N_T	تراکم مطلق ناخالصی
N_o	تراکم اتمی سطح
n	تراکم الکترون آزاد
N_v, N_T	تراکم حجمی اتمها
n_v, n_T	چگالی اتمی در صفحه‌های اتمی ۱ و ۲
n_i	تراکم ذاتی باربرها
p	تراکم حفره‌های آزاد
Q	تراکم سطح اتمهای نفوذکننده در جامد
q	بار الکتریکی
R	مقاومت
R_H	ضریب هال
R_p	بُرد کاشت متوسط یون کاشته شده
$R_{\perp}$	بُرد عرضی متوسط یون کاشته شده
S	سطح افزار - سطح قطعه
T	دمای مطلق
T_f	دمای یخزدگی
t	زمان
u	سرعت متوسط رانش
V	پتانسیل (ولتاژ)
V_T	ولتاژ آستانه (ترانزیستور اثر میدانی افزایشی)
v, v_x	سرعت ذره
X_i	ضخامت اولیه اکسید
X_o	ضخامت اکسید

ϕ	گذردهی سیلیسیوم
λ	شار خالص اتمهای نفوذ شونده
μ	مسیر آزاد میانگین بین برخوردها
μ_H	قابلیت تحرک (تحرک)
μ_M	تحرک هال
ν	تحرک GMR
ν_j	فرکانس نوسان اتمی
σ_p	فرکانس جهش اتمی
ρ	تفرق بُرد
ρ_L	مقاومت ویژه
σ	مقاومت ویژه در واحد سطح
τ	رسانائی الکتریکی
τ_0	زمان میانگین بین برخوردها
X	زمان اکسیداسیون اولیه
	وابستگی الکترونی