بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه پیام نور

دانشکده : علوم پایه

مرکز : تهران

پایان نامه :

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته : فیزیک

گرایش : حالت جامد

گروه : فیزیک

عنوان پایان نامه:

ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید و کاربرد آن در سوئیچینگ

مولف :

جواد مهدی نیا فیروزجایی

استاد راهنما:

دکتر سیدعلی هاشمی زاده عقدا

شهریور ۱۳۹۱

تاریخ : / /

شماره :

دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خانم / آقای
دانشجوی رشته به شماره دانشجویی
تحت عنوان
با حضور هیات داوران در روز مورخ / / ساعت
در محل ساختمان برگزار شد و هیات داوران پس از بررسی، پایان نامه مذکور را شایسته
نمره به عدد به حروف با درجه تشخیص داد.

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه/موسسه	امضا
		استاد راهنما			
		استاد مشاور			
		استاد داور			
		نماینده تحصیلات تکمیلی			

اینجانب جواد مهدینیا فیروزجایی دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۷ مقطع کارشناسیارشد رشته فیزیک گواهی مینمایم چنانچه در پایاننامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفتهام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کردهام. بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش میدانم و جوابگوی آن خواهم بود.

دانشجو تایید مینماید که مطالب مندرج در این پایان نامه (رساله) نتیجه تحقیقات خودش میباشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضا

اینجانب جواد مهدینیا فیروزجایی دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۷ مقطع کارشناسیارشد رشته فیزیک گواهی مینمایم چنانچه براساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله، کتاب و . . . نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب و . . . و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضا

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه پیام نور میباشد.

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که فروغ هستیشان گرمیبخش زندگیام است و اتکا به محبتها و الطافشان راه را هموار و تحمل مشکلات را آسان مینماید. باشد که با این اندک قطرهای به دریای زحمات خالصانه آنها ارج نهاده باشم.

و همسرعزیزم

که در این امر بنده را یاری رساندند.

سپاسگذاری

با تشکر از تمامی اساتیدی که به واسطه تعهدشان نعمت علم را به ما هدیه کردند. آنهایی که از ایشان تلاش را و از تلاششان همت را و از همتشان غیرت را آموختیم.

همچنین از استاد گرامی دکتر سیدعلی هاشمی زاده عقدا که در انجام این پروژه، حقیر را یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

بعد از محدود شدن ترانزیستورهای سیلیکونی، بعلت بازدهی کم و پتانسیل پایین، پیداکردن جایگزینی مناسب برای آنها، که علاوه بر بازدهی بالاتر، قابلیت مجتمعسازی و عدم نیاز به تجهیزات خنک کننده داشته باشد اهمیّت فوقالعادهای پیدا کرد. لذا با در نظر گرفتن این شرایط، گالیوم نیترید به عنوان جایگزین آن معرفی گردید که یک نیمهرسانای ترکیبی III-V و با گاف نواری مستقیم و نسبتاً بزرگ (با انرژی ۳.۵ الکترونولت) میباشد. گالیوم نیترید در ترانزیستورهای سوئیچینگ آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید، لیزرها، آشکارسازهای نوری، طراحی وایمکس، چشمههای مولد امواج میکروموج، دیودهای لیزری و ... برای پوشش دامنه فرکانسی پهن از باند S تا Ku (از فرکانس ۳ تا ۱۸ گیگاهرتز) بکار میرود. در این پایاننامه ابتدا در فصل اول به تعریف ترانزیستورها و موارد کاربرد آن و سپس به تحلیل سوئیچینگ، مزایا، معایب و انواع آن پرداخته و در ادامه پارامترها و کاربردهای نیمهرسانای گالیوم نیترید را مورد مطالعه قرار میدهیم. در فصل دوم نمودارهای لومینسانس و توزیع میدان الکتریکی در ترانزیستورهای آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید را آنالیز کرده و در ادامهی همین فصل به روشهای بهبود عملکرد ترانزیستور مذکور میپردازیم که روش اول آن، افزایش چگالی الکترون در کانال با استفاده از افزایش چگالی ناخالصی، افزایش ضخامت لایه آلومینیوم گالیوم نیترید و افزایش درصد آلومینیوم است و روش دوم آن، افزایش ولتاژ شکست با بکارگیری لایه بافر آلومینیوم نیترید و بکارگیری آلومینیوم گالیوم نیترید با درصد آلومینیوم متفاوت در کانال به جای گالیوم نیترید میباشد. در فصل سوم کاربردهای ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید و مقایسه آن با ترانزیستورهای مشابه و کاربردهای ترانزیستور یاد شده در ارتباطات وایمکس و سوئیچینگ را بررسی میکنیم. در فصل چهارم، پارامترهای ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید را شبیهسازی کرده و نتایج شبیهسازی را با اندازگیری آزمایشگاهی مقایسه میکنیم.

کلید واژه: سوئیچینگ – ولتاژ شکست – ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید – شبیهسازی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۳

۱-۱ ترانزیستورها 5

۱-۱-۱ انواع ترانزیستورها و نحوهی کار آنها 6

۱-۱-۲ تاریخچه ساخت ترانزیستور 8

۱-۱-۳ موارد کاربرد ترانزیستورها 11

۱-۲ سوئیچینگ 12

۱-۲-۱ انواع رگولاتورهای ولتاژ و مقایسه آنها 12

۱-۲-۲ رگولاتورهای سوئیچینگ بدون ترانس 14

۱-۲-۳ رگولاتورهای سوئیچینگ با ترانس 17

۱-۳ نیمهرسانای گالیوم نیترید و کاربردهای آن 20

۱-۳-۱ نیمهرساناها 20

۱-۳-۲ گالیوم نیترید 22

۱-۳-۳ کاربردهای گالیوم نیترید 26

فصل دوم: پارامترهای ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید و بهبود عملکرد آن ۲۸

۲-۱ آنالیز جزئیات لومینسانس ترانزیستورآلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 29

۲-۲ بررسی و مقایسه توزیع میدان الکتریکی در ساختارهای متفاوت ترانزیستور 35

۲-۳ میدان پلاریزاسیون و تلههای سطحی 38

۲-٤ بهبود عملکرد ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 40

۲-۵ اثر عوامل مختلف موثر بر چگالی الکترون در کانال 40

۲-۵-۱ اثر تغییر چگالی ناخالصی 41

۲-۵-۲ اثر ضخامت لایه آلومینیوم گالیوم نیترید 42

۲-۵-۳ اثر تغییر درصد آلومینیوم 42

۲-٦ ولتاژ شکست و راههای افزایش آن 43

۲-٦-۱ افزایش ولتاژ شکست با بکارگیری لایهی بافر آلومینیوم نیترید 43

۲-٦-۲ افزایش ولتاژ شکست با بکارگیری لایه آلومینیوم گالیوم نیترید در کانال 47
فصل سوم: کاربرد ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید **54**
۳-۱ بررسی و مقایسه کاربردهای ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 55
۳-۲ کاربرد ترانزیستورهای برپایه گالیوم نیترید در طراحی وایمکس 59
۳-۳ کاربرد ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید در سوئیچینگ 60
فصل چهارم: شبیه سازی و اندازگیری مشخصات ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید ٦٨
٤-۱ شبیهسازی ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 70
٤-۲ مقایسه نتایج شبیهسازی و آزمایش 72
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات **77**
پیوست الف **82**
فهرست منابع **85**
چکیده انگلیسی **88**

فهرست جداول، نمودارها و شکل ها

جدول ۱-۱ : نوار انرژی برای گالیوم نیترید و موارد مشابه 23

جدول ۱-۲ : مقایسه پارامترهای فیزیکی در دو ساختار وورتسایت و زینک بلند 25

جدول ۱-۳ : مقایسه ترابرد الکترون برای ساختارهای گالیوم نیترید، ایندیوم نیترید و آلومینیوم نیترید 26

جدول ۲-۱ : مقادیر پارامتر مقاومت وصل و ولتاژ شکست در Off-state و On-state 46

جدول ۳-۱ : جزئیات فیزیکی نیمهرساناهای مختلف برای ترانزیستورهای ولتاژ بالا 56

جدول ۳-۲ : مقادیر نامی بیشینه برای ترانزیستور EPC1015 62

جدول ۳-۳ :مقادیر پارامتره‌ای ترانزیستور EPC1015 63

شکل ۱-۱ : نمونهای از لامپهای خلا و مقایسه ظاهری آن با ترانزیستور 5

شکل ۱-۲ : مکان فیزیکی پایههای ترانزیستور دوقطبی پیوندی 7

شکل ۱-۳ : مکان فیزیکی پایههای ترانزیستور اثر میدانی 8

شکل ۱-٤ : مدار رگولاتور سوئیچینگ ساده 13

شکل ۱-۵ : مدار رگولاتور باک 14

شکل ۱-٦ : مدار رگولاتور بوست 15

شکل ۱-۷ : مدار رگولاتور باک-بوست 16

شکل ۱-۸ : مدار رگولاتور فلایبک 17

شکل ۱-۹ : مدار رگولاتور پوشپل 18

شکل ۱-۱۰ : مدار رگولاتور نیمپل 19

شکل ۱-۱۱ : مدار رگولاتور تمامپل 20

شکل ۱-۱۲ : نمایش گاف نواری در نیمهرساناها 21

شکل ۱-۱۳ : ساختار نواری و بلوری برای وورتسایت و زینک بلند گالیوم نیترید 24

شکل ۱-۱٤ : مقایسه وابستگی بدما برای ساختارهای وورتسایت و زینک بلند 24

شکل ۱-۱۵ : ترانزیستور گالیوم نیترید (توان بالا) در مخابرات 27

شکل ۲-۱ : دیاگرام نواری فرایند الکترولومینسانس 29

شکل ۲-۲ : نمودار جریان درین-ولتاژ درین برای ترانزیستور زیر آنالیز 30

شکل ۲-۳ : منحنی شدت الکترولومینسانس-ولتاژ گیت برای ترانزیستور زیر آنالیز 31

شکل ۲-٤ : نمودار شدت الکترولومینسانس-ولتاژ درین برای ترانزیستور زیر آنالیز 32

شکل ۲-۵ : نمودار شدت الکترولومینسانس اندازگیری شده روی ترانزیستور زیر آنالیز 33

شکل ۲-٦ : طیف لومینسانس کاتدی اندازگیری شده در ۷۷ درجه کلوین 34

شکل ۲-۷ : مقایسه شماتیک سه معماری مختلف ترانزیستور مورد بررسی 36

شکل ۲-۸ : توزیع شدت الکترولومینسانس برای سه معماری مختلف ترانزیستور مورد بررسی 37

شکل ۲-۹ : نمودار شدت الکترولومینسانس با تابعی از ولتاژ درین-سورس 38
شکل ۲-۱۰ : ساختار لایه ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 39
شکل ۲-۱۱ : نمایش میدانهای الکتریکی و پلاریزاسیون در آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 42
شکل ۲-۱۲ : نمودار شماتیکی ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید مورد بررسی 44
شکل ۲-۱۳ : مشخصات جریان-ولتاژ برای ترانزیستور مورد بررسی 45
شکل ۲-۱٤ : مشخصات ولتاژ شکست در Off-state و On-state برای ترانزیستور مورد بررسی 46
شکل ۲-۱۵ : ساختار ترانزیستور با لایه کانال آلومینیوم گالیوم نیترید 48
شکل ۲-۱٦ : منحنی جریان-ولتاژ درین در ترانزیستور با کانال آلومینیوم گالیوم نیترید 49
شکل ۲-۱۷ : منحنی جریان-ولتاژ درین در سه نوع ترانزیستور مورد بررسی 50
شکل ۲-۱۸ : وابستگی فاصله بین گیت-درین با ولتاژ شکست و جریان درین 51
شکل ۲-۱۹ : مقایسه پارامترهای ترانزیستورهای سیلیکونی، سیلیکون کربنات و گالیوم نیترید 53
شکل ۳-۱ : ساختار ماسفت عرضی با استفاده از گالیوم نیترید 55
شکل ۳-۲ : ساختار ماسفت عمودی با استفاده از سیلیکون کربنات 56
شکل ۳-۳ : زمینههای کاربرد ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید 57
شکل ۳-٤ : نمودار کلی سیستم راهانداز در توان مگاوات 58
شکل ۳-۵ : ترانزیستور NPT25015 60
شکل ۳-٦ : ترانزیستور EPC1015 61
شکل ۳-۷ : مشخصات خروجی یک نمونه از ترانزیستور EPC1015 63
شکل ۳-۸ : مشخصات انتقال برای ترانزیستور EPC1015 64
شکل ۳-۹ : نمودار مقاومت وصل-ولتاژ گیت در جریانهای درین مختلف در ترانزیستور EPC1015 65
شکل ۳-۱۰ : نمودار مقاومت وصل-ولتاژ گیت در دماهای مختلف در ترانزیستور EPC1015 65
شکل ۳-۱۱ : نمودار مشخصات درین به سورس در ترانزیستور EPC1015 66
شکل ۳-۱۲ : نمودار جریان گیت در دماهای مختلف برای ترانزیستور EPC1015 67
شکل ٤-۱ : ورودی و خروجی نرمافزار اطلس 70
شکل ٤-۲ : نمودار ولتاژ گیت در برابر جریان درین شبیهسازی شده 71
شکل ٤-۳ : آزمایش بر روی ترانزیستور IRF634A 72
شکل ٤-٤ : مدار داخلی و شکل ظاهری ترانزیستور IRF634A 73
شکل ٤-۵ : نمودار جریان درین دربرابر ولتاژ درین اندازگیری شده بر روی ترانزیستور IRF634A 73
شکل ٤-٦ : نمودار جریان درین دربرابر ولتاژ درین شبیهسازی شده 74
شکل ٤-۷ : نمودار جریان درین دربرابر ولتاژ گیت اندازگیری شده بر روی ترانزیستور IRF634A 75
شکل ٤-۸ : نمودار جریان درین دربرابر ولتاژ گیت شبیهسازی شده 75

فصل اول

مقدمه

از سال ۱۹۶۵ میلادی، سیلیکون[1] نیمهرسانای رایج برای کاربردهای سوئیچینگ به شمار میرفت، اما ترانزیستورهای سیلیکونی در کاربرد به محدودیتهایی رسیدند که توسعه و بهینهسازی آن ممکن نبود و گالیوم نیترید که در ترانزیستورهای آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید بکار میرود بعلت داشتن بازدهی بالاتر، قابلیت کار در دماهای بالا (۲۵۰ درجه سانتیگراد)، جریانهای خیلی بالا (دهها آمپر) و امکان مجتمع سازی، جایگزین آن شد. گالیوم نیترید نیمهرسانای ترکیبی III-V و دارای ساختار هگزاگونال میباشد و در کاربردهای تجاری یا نظامی برای پوشش یک دامنه فرکانسی پهن بین باند S تا باند Ku (از ۳ تا ۱۸ گیگاهرتز)، برای تقویت در توانهای بالا بکار میرود. رشد آن در فرایند همبافتگی پرتو مولکولی[2] با گالیوم سولفید بهمراه آمونیوم (به عنوان منشا نیتروژن) بنا نهاده شده است. نیمهرسانای گالیوم نیترید دارای گاف نواری مستقیم و انرژی گاف نواری آن ۳.۵ الکترون ولت در دمای ٤ درجه کلوین میباشد.

موارد استفاده از گالیوم نیترید در ترانزیستورهای سوئیچینگ آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید، ارتباطات وایمکس، لیزرها، آشکارسازهای نوری، کلیدهای فوق سریع با توان بالا، چشمههای مولد امواج میکروموج، دیودهای لیزری و . . . میباشد.

یکی از مهمترین کاربردهای گالیوم نیترید در ترانزیستور با موبیلیتی بالای آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید میباشد. موبیلیتی بالای تولید شده بوسیله گاز الکترونی دوبعدی[3] در ترانزیستور آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید[4]، علاوه بر کاهش مقاومت وصل[5](مقاومت ترانزیستور در حین عبور جریان)، چگالی کانال ایجاد شده بوسیله میدان پلاریزاسیون را افزایش میدهد.

نیمهرساناهای با گاف نواری پهن، بطور خاص گالیوم نیترید، به دلیل ارائه مزایای بالقوه مختلف از قبیل سرعت بالاتر، تلفات پایینتر، محدوده دمای کاری[6] وسیع، ولتاژ شکست زیاد و میدان شکست

[1] .Silicon
[2] .MBE: Molecular Beam Epitaxy
[3] .2-DEG
[4] .AlGaN/GaN Transistor
[5] .R_{on}: on-resistance
[6] .operating temperature

الکتریکی بالا در مقایسه با دیگر ترانزیستورهای سوئیچینگ از قبیل سیلیکون و سیلیکون کربنات از ارزش بالاتری برخوردار است.

۱–۱ ترانزیستورها

ترانزیستورها یکی از مهمترین و پرکاربردترین قطعات الکترونیکی میباشند که از مواد نیمهرسانایی مانند سیلیکون، سیلیکون کربنات، گالیوم آرسناید، ژرمانیوم، گالیوم نیترید و . . . ساخته میشوند. یک ترانزیستور در ساختار خود دارای پیوندهای، نوع N و نوع P میباشد. ترانزیستور از سوی بسیاری به عنوان یکی از بزرگترین اختراعات در تاریخ نوین مطرح شده است، در رتبهبندی از لحاظ اهمیّت در کنار ماشین چاپ، خودرو و مخابرات قرار دارد. پیش از گسترش و پیشرفت ترانزیستورها، لامپهای خلا از قطعات فعّال اصلی تجهیزات الکترونیکی بودند که در بیشتر موارد ترانزیستورها به دلایل مزایایی از قبیل اندازه کوچکتر، تولید کاملاً اتوماتیک با هزینه کمتر، امکان ولتاژ کاری پایینتر، نداشتن دوره گرمشدن، تلفات توان پایینتر، قابلیت اطمینان بالاتر و قابلیت کنترل جریان بالا، جایگزین لامپهای خلا شدهاند.

شکل(۱–۱): دو نمونه از لامپهای خلا و مقایسه ظاهری آن با ترانزیستور.

در شکل(۱–۱) دو نمونه از لامپ خلا نشان داده شده است و از لحاظ اندازه و شکل ظاهری با یک ترانزیستور مقایسه شده است.

۱–۱–۱ انواع ترانزیستورها و نحوه کار آنها

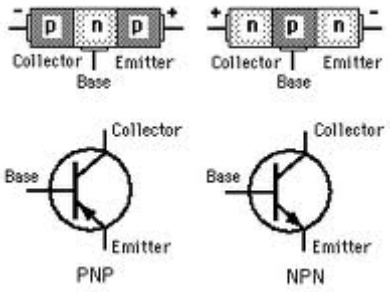
ترانزیستور دارای ۳ ناحیه کاری می‌باشد: ناحیه قطع/ناحیه فعال (کاری یا خطی)/ناحیه اشباع. ناحیه قطع حالتی است که ترانزیستور در آن ناحیه فعالیت خاصی انجام نمی‌دهد. اگر ولتاژ بیس را افزایش دهیم ترانزیستور از حالت قطع بیرون آمده و به ناحیه فعال وارد می‌شود در حالت فعال ترانزیستور مثل یک عنصر تقریباً خطی عمل می‌کند اگر ولتاژ بیس را همچنان افزایش دهیم به ناحیه‌ای می‌رسیم که با افزایش جریان ورودی در بیس دیگر شاهد افزایش جریان بین کلکتور و امیتر نخواهیم بود به این حالت، حالت اشباع گفته میشود و اگر جریان ورودی به بیس زیادتر شود امکان سوختن ترانزیستور وجود دارد. ترانزیستور هم در مدارات الکترونیک آنالوگ و هم در مدارات الکترونیک دیجیتال کاربردهای بسیار وسیعی دارد. در مدارات آنالوگ ترانزیستور در حالت فعال کار می‌کند و می‌توان از آن به عنوان تقویتکننده یا تنظیمکننده ولتاژ (رگولاتور) و . . . استفاده کرد. و در مدارات دیجیتال ترانزیستور در دو ناحیه قطع و اشباع فعالیت می‌کند که می‌توان از این حالت ترانزیستور در پیاده سازی مدار منطقی، حافظه، سوئیچکردن و . . . استفاده کرد. به جرات می‌توان گفت که ترانزیستور قلب تپنده الکترونیک است (سایت ویکیپدیا).

دو دستهی مهم از ترانزیستورها، ترانزیستور دوقطبی پیوندی [1] و ترانزیستور اثر میدانی [2] میباشند. ترانزیستورهای اثر میدانی نیز به دو دسته ترانزیستور اثر میدان پیوندی [3] و ماسفتها (ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی نیمههادی[4]) تقسیم می‌شوند.

در ترانزیستور دو قطبی پیوندی با اعمال یک جریان به پایه بیس، جریان عبوری از دو پایه کلکتور و امیتر کنترل می‌شود. ترانزیستورهای دوقطبی پیوندی در دو نوع npn و pnp ساخته می‌شوند. بسته به حالت بایاس این ترانزیستورها، ممکن است در ناحیه قطع، فعال و یا اشباع کار کنند. سرعت بالای این ترانزیستورها و بعضی قابلیت‌های دیگر باعث شده که هنوز هم از آنها در بعضی مدارات خاص استفاده شود. ساختمان ترانزیستور دوقطبی پیوندی دارای دو پیوندگاه است، یکی بین امیتر و بیس و

[1] .BJT: Bypolar Junction Transistors
[2] .FET: Field Effect Transistors
[3] .JFET: junction Field Effect Transistors
[4] .MOSFET: metal oxide Semiconductor Field Effect Transistors

دیگری بین بیس و کلکتور. به همین دلیل از لحاظ شکل ظاهری، ترانزیستور شبیه دو دیود میباشد، دیود سمت چپ را دیود بیس–امیتر یا صرفاً دیود امیتر و دیود سمت راست را دیود کلکتور–بیس یا دیود کلکتور می‌نامیم. میزان ناخالصی ناحیه وسط به مراتب کمتر از دو ناحیه جانبی است. این کاهش ناخالصی باعث کم شدن هدایت و بالعکس باعث زیاد شدن مقاومت این ناحیه می‌گردد. امیتر که به شدت آلائیده شده، نقش گسیل و یا تزریق الکترون به درون بیس را بر عهده دارد. بیس بسیار نازک ساخته شده و آلایش آن ضعیف است و لذا بیشتر الکترونهای تزریق شده از امیتر را به کلکتور انتقال می‌دهد. میزان آلایش کلکتور کمتر از میزان آلایش شدید امیتر و بیشتر از آلایش ضعیف بیس است و درنتیجه، کلکتور الکترونها را از بیس جمع‌آوری می‌کند. ترانزیستورها به سه شکل اتصال بیس مشترک (مشترک بودن پایه بیس بین هردو بخش ورودی و خروجی)، امیتر مشترک (مشترک بودن امیتر بین بیس و کلکتور) و کلکتور مشترک (مشترک بودن کلکتور بین بیس و امیتر) تقسیمبندی میشوند.

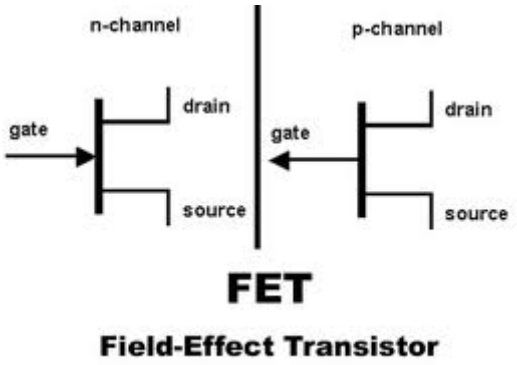


شکل(۱–۲): مکان فیزیکی پایه‌ها در ترانزیستورهای دو قطبی پیوندی.

در ترانزیستورهای اثر میدانی (فِت)، همانگونه که از نام این المان بر میآید، پایه کنترلی آن جریانی مصرف نمی‌کند و تنها با اعمال ولتاژ و ایجاد میدان درون نیمه هادی، جریان عبوری از ترانزیستور اثر میدانی کنترل می‌شود. به همین دلیل ورودی این مدار هیچگونه اثر بارگذاری بر روی طبقات تقویت قبلی نمی‌گذارد. ترانزیستور اثر میدانی دارای سه پایه با نامهای درِین D، سورس S و گیت G میباشد که پایه گیت، جریان عبوری از درین به سورس را کنترل می‌نماید. ترانزیستورهای اثر میدانی دارای دو نوع کانال N و کانال P هستند. ترانزیستور اثر میدانی معمولاً بسیار حساس بوده و حتی با الکتریسیته ساکن بدن نیز تحریک می‌شوند، به همین دلیل نسبت به نویز بسیار حساس هستند. در ترانزیستورهای اثر میدان پیوندی در اثر میدان، با اعمال یک ولتاژ به پایه گیت میزان جریان عبوری از دو پایه سورس و درین کنترل می‌شود. ترانزیستور اثر میدانی بر دو قسم است: نوع n یا N-Type و

نوع p یا P-Type. نوع pnp شامل سه لایه نیمههادی که دو لایه کناری از نوع p و لایه میانی از نوع n است و مزیت اصلی آن در تشریح عملکرد ترانزیستور این است که جهت جاریشدن حفرهها با جهت جریان یکی است. نوع npn شامل سه لایه نیمههادی که دو لایه کناری از نوع n و لایه میانی از نوع p است. نوع دیگر ترانزیستورهای اثر میدانی، ماسفتها هستند. یکی از اساسیترین مزیت ماسفتها نویز کمتر آنها در مدار است. ترانزیستورهای ماسفت نیز مانند ترانزیستورهای اثر میدان پیوندی عمل میکنند با این تفاوت که جریان ورودی گیت آنها صفر است. همچنین رابطه جریان با ولتاژ نیز متفاوت است. این ترانزیستورها دارای دو نوع PMOS و NMOS هستند که فناوری استفاده از دو نوع آن در یک مدار، تکنولوژی CMOS نام دارد. این ترانزیستورها امروزه بسیار کاربرد دارند زیرا به راحتی مجتمع میشوند و فضای کمتری اشغال میکنند و همچنین مصرف توان ناچیزی دارند.

در ترانزیستورها دو مشخصه الکترونیکی خیلی مهم وجود دارد که عبارتند از: ولتاژ شکست یا ولتاژ عایق شکن که با اعمال آن عایق الکتریکی گسیخته میشود و در نتیجه ترانزیستور خاصیت عایق بودن خود را از دست میدهد و جریان برق از آن عبور میکند و مقاومت وصل که در اثر عبور جریان از ترانزیستور ایجاد میشود.



شکل (۱-۳): مکان فیزیکی پایهها در ترانزیستورهای اثر میدانی.

۱-۱-۲ تاریخچه ساخت ترانزیستور

اولین اختراع ترانزیستور اثر میدان در سال ۱۹۲۸ میلادی در آلمان توسط فیزیکدانی به نام Julius Edgar Lilienfeld ثبت شد، اما او هیچ مقالهای درباره قطعهاش چاپ نکرد و هیچ مدرک مستدلی وجود ندارد که او این قطعه را ساخته است. در سال ۱۹۳٤ فیزیکدان آلمانی دکتر Oskar Heil ترانزیستور اثر میدان دیگری را به ثبت رساند. اوراق قانونی از آزمایشگاههای ثبت اختراع بل نشان

می‌دهد که Shockley و Pearson یک نسخه قابل استفاده از اختراع Lilienfeld ساخته‌اند درحالیکه آنها هیچگاه این را در تحقیقات و مقالات خود ذکر نکردهاند. در ۲۳ دسامبر ۱۹٤۷ میلادی Wiliam Shockley ، John Bardan و Walter Brattain موفق به ساخت اولین ترانزیستور اتصال نقطه‌ای در آزمایشگاه بل شدند. آزمایشگاه‌های تلفن بل به یک اسم کلّی برای اختراع جدید نیاز داشتند: از قبیل «سهقطبی نیمههادی»، «سهقطبی جامد»، «سهقطبی اجزاء سطحی»، «سهقطبی کریستال» و «لاتاتورن» که همگی مطرح شده بودند، اما «ترانزیستور» که توسط John R.Pierce پیشنهاد شده بود، برنده یک قرعهکشی داخلی شد. ترانزیستور، یک ترکیب مختصر از کلمات «ترانسکانداکتانس» یا «انتقال» و «مقاومت متغیر» است. ترانزیستورهای اولیه از نظر شیمیایی ناپایدار بودند و فقط برای کاربردهای فرکانس و توان پایین مناسب بودند، اما همینکه طراحی ترانزیستور توسعه یافت این مشکلات نیز کمکم برطرف شد. بعد از دو دهه ترانزیستورها بتدریج جای لامپ‌های خلا را در بسیاری از کاربردها گرفتند و بعدها امکان تولید دستگاه‌های جدیدی از قبیل مدارات مجتمع و رایانه‌های شخصی را فراهم آوردند. اولین ترانزیستور گالیوم آرسناید با گیت شاتکی (اتصال شاتکی گونهای از اتصال P-N است که در آن فلزی نقش نیمهرسانای منفی را بازی میکند)، توسط Carver Mead ساخته و در سال ۱۹٦٦ گزارش داده شد.

پس از گذشت چند سال از ساخت نخستین ترانزیستور و پیشرفت تکنولوژی، کمپانی کری[1] در سال ۱۹۹۳ میلادی اولین یوماسفت[2] را به بازار عرضه کرد که بعد از آن، کمپانی دنسو[3] یک یوماسفت با مشخصات الکترونیکی $۴۵۰V/۱۱m\Omega.cm^2$ (ولتاژ شکست (ولتاژ عایق شکن) ٤۵۰ ولت و مقاومت وصل ۱۱ میلیاهم.سانتیمترمربع) و در سال ۱۹۹۸ میلادی، کمپانی کانسای الکتریکال پاور[4] یک یوماسفت با مشخصات $۱۴۰۰V/۳۱۱m\Omega.cm^2$ را ارائه کرد و همچنین دانشگاه پوردو[5]، دیماسفت[6] ماسفت[6] با مشخصات $۲/۶KV/۵۵۰\Omega.cm^2$ را عرضه کرد که بعداً به ولتاژ شکست ۲.۷ کیلوولت

[1] .CREE CO.
[2] .UMOSFET: u-shape metal oxide semiconductor field effect transistors
[3] .DENSO CO.
[4] .Kansai Electrical Power Co
[5] .Purdue
[6] .DMOSFET : double diffused metal oxide semiconductor field effect transistors

افزایش داده شد، اما مقاومت وصل آن نسبتاً بالا باقی مانده بود. شرکت آر پی آی در سال ۲۰۰۰ میلادی ریسورفماسفت[1] با مشخصات $۱۲۰۰V/۴\Omega.cm^2$ و $۹۰۰V/۵۶۰m.\Omega.cm^2$ را ارائه داد. آخرین نتایج گزارش شده توسط کمپانی کانسای، یک سیافت[2] سیلیکون کربنات، با مشخصات $۴/۵KV/۳۸۷m.\Omega.cm^2$ بود.

سیلیکون کربنات بیان شده در بالا، با وجود داشتن ولتاژ شکست خیلی بالا، جریان کمی (در حد میلیآمپر) دارد. در سال ۱۹۹۹ میلادی ، کمپانی زیمنس[3] یک ماسفت با مشخصات $۱۸۰۰V/۸۲m.\Omega.cm^2$ و با توانایی حمل جریان ۰.٤ آمپر ساخت که چند سال بعد، آنرا به ۱ آمپر و مقاومت وصل به مقدارکم $۱۴m\Omega.cm^2$ رساند. این مقادیر، پایینترین مقدار مقاومت وصل و بالاترین مقدار جریان بدستآمده برای ترانزیستورهای سوئیچینگ سیلیکون کربنات میباشند.

فقدان ترکیب تجاری ساختارهای بالک گالیوم نیترید بهمراه مشکلات در پردازش ماده به سبب پایداری مکانیکی و شیمیایی، در ابتدا مانع توسعه ترانزیستورهای برپایه گالیوم نیترید شد اما بعداً به دلیل پیشرفت در زمینه تکنیکهای پردازش و کیفیت ماده بهتر، توسعه ترانزیستورهای سوئیچینگ پاور بر پایه گالیوم نیترید امکانپذیر شد. جی.سیمین[4] یک ماسفت-اچفت آلومینیوم گالیوم نیترید/گالیوم نیترید[5] با مشخصات $۵۰۰V/۰/۷۵m.\Omega.cm^2$ و چگالی جریان خیلی بالا $۱۵A/mm^2$ ساخت. این مقادیر از همه مقادیر بدست آمده برای سیلیکون کربنات بالاتر بود اما لازم بود تا ولتاژ شکست بهبود یابد. اس.یاشیدا[6] توانست یک اچ ای ام تی[7] با پهنای گیت ۲۰۰mm و جریان درین ۱۵ آمپر با مقاومت وصل $۳m\Omega.cm^2$ بسازد. ابتدا روی اچ ای ام تیهای توان بالای گالیوم نیترید در یو سی اس بی[8] بوسیله راما وتوری[9] کار شد که گیتهای شناور[10] در این کار استفاده شدند. گیت - های شناور با گسترش میدان الکتریکی در طول کانال، ولتاژ شکست را بهبود میدهند، که با این

[1] .RESURF MOSFET : surface field metal oxide semiconductor field effect transistors
[2] .SIAFET : semiconductor industry association field effect transistors
[3] .Siemens AG Co.
[4] .G.Simin
[5] .MOSFET-HFET AlGaN/GaN
[6] .S.Yoshida
[7] .HEMT: High Electron Mobility Transistor
[8] .UCSB
[9] .Rama Vetury
[10] .floating gate

روش ولتاژ شکست ٤٣٥ ولت در یک فاصله جدایی درین تا گیت ۷ میکرومتر بدست آمد (ژانگ و همکارانش، ۲۰۰۲: ۱۰). اما در حال حاضر، برای بهبود عملکرد ترانزیستور یادشده، از روشهای بسیاری از قبیل بکارگیری آلومینیوم گالیوم نیترید با ترکیب آلومینیوم متفاوت، به جای گالیوم نیترید در کانال استفاده میشود که با این روش بیان شده، عملکرد ترانزیستورهای یاد شده بطور قابل توجهی بهبود مییابد (با افزایش ولتاژ شکست و کاهش مقاومت وصل).

۱-۱-۳ موارد کاربرد ترانزیستورها

به بیان ساده در اغلب ترانزیستورها، مقدار جریان عبوری از پایه کلکتور به امیتر بر اساس جریان عبوری از بیس به امیتر کنترل میشود. ترانزیستورها سه وظیفه مهم را در مدارهای الکترونیکی ایفا میکنند :

الف) سوئیچینگ (قطع و وصل جریان): ترانزیستور همانند کلید برق (با قطع و وصل جریان برق بطور مکانیکی با اعمال فشار دست بر روی آن) عمل سوئیچینگ را انجام میدهد با این تفاوت که خودش از یک جریان الکتریکی دیگر فرمان میگیرد. فرق بین سوئیچینگ به وسیله ترانزیستور و به وسیله کلید برق، سرعت بسیار زیاد ترانزیستور است که میتوان گاهی آنرا در مقایسه با کلید آنی ، در نظر گرفت (صدها هزار برابر و شاید میلیونها بار سریعتر) و اینکه ترانزیستور را میتوان به دیگر منابع الکترونیکی متصل کرد.

ب) تقویتکنندگی و مدولاسیون: جریان ضعیف ایجاد شده از یک ولتاژ ضعیف نمیتواند برای کارهای بسیاری که به جریان قویتری نیاز دارد مورد استفاده قرار گیرد و باید با استفاده از ترانزیستور، آنرا به جریان قویتری تبدیل کرد. ترانزیستور میتوان بدون تغییر در شکل و فرکانس یک موج، دامنه و انرژی آنرا افزایش دهد.

از این خاصیت ترانزیستورها، در محدوده‌ی فرکانسهای پایین بمنظور تقویت ، بهبود و پخش مناسب صدای سیگنالهای مغزی و قلبی و در فرکانسهای رادیویی - تلویزیونی برای دریافت صدا یا تصویر و تبدیل آن به صدای واضحتر و تصویر با کیفیتتر استفاده می‌شود.