٤٨٠٩٣

دانشگاه تبریز

دانشکده فیزیک

گروه فیزیک حالت جامد و الکترونیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسي ارشد در رشته فیزیك حالت جامد و الکترونیك

عنوان:

مطالعه قطبش آنی وپیزوالکتریکی ساختار نامتجانس AlGaN/GaN

استاد راهنما:

دکتر منوچهر کلافی

استاد مشاور:

دکتر حسن بیدادی

۱۳۸۲ /۸/ ۲۰

پژوهشگر:

کبری نصیری اوانکی

فروردین ۱۳۸۲

۴۸۰۹۳

مرا ای بی نهایت رحمت کن...

من ظاهر نیستی و هستی دانم

من باطن هر فراز و پستی دانم

با این همه از دانش خود شرمم باد

گر مرتبه ای ورای هستی دانم

حکیم عمر خیام

باتشکر و امتنان از:

استادفرهیخته و دانشمندم جناب **آقای دکتر منوچهر کلافی** که در مدت بررسی و اجرای این پروژه باپیشنهادات سازنده وپویا یشان همواره بهترین راهنما و ره گشایم بودند و فراز و نشیب راه را بر من آسان می نمودند.

استاد فرزانه جناب آقای دکتر حسن بیدادی به جهت مشاوره و بررسی نهایی و نیز پذیرفتن داوری این پایاننامه.

استاد گرامی جناب آقای دکتر سعید دیلمقانی که داوری این پایاننامه را پذیرفتند.

راهنماییهاو کمکهای بی شائبه آقایان دکتر عسگری-دکتر کریمی-مهندس رضایی.

همکاری ارزنده ریاست و معاونت محترم مرکز پژوهشهای فیزیک کاربردی و دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز.

کمکها و یاوریهای دوستان عزیزم جناب آقای مهندس ذوالفقاری- سرکارخانم مهندس رجالی -مهندس لطف اللهی وسایر دوستان در مرکز پژوهشهای فیزیک کاربردی.

همکاری فراوان مسئول محترم سایت کامپیوتردر مرکز پژوهشی ودانشکده فیزیک ونیز مسولین محترم کتابخانه مرکز پژوهشی و دانشکده فیزیک و کلیه عزیزانی که در به ثمر رسیدن این مقوله به هر نحوی از همراهی دریغ نفرموده اند.

بر این باورم که این تلاشها بدون همراهی ها و دلگرمیها ویاوری های خانواده خوبم،مخصوصا پدرو مادر عزیزم هرگز به ثمر نمی رسید،بجاست بپاس عشق و محبت گرمشان بر دستان پر مهرشان بوسه زنم و آنچه اکنون در چنته دارم تقدیمشان کنم.

که البته برگ سبزی ست تحفه درویش.

فرم مـــــــــربوط به چکیـــــدۀ پایان نامـــــه

نام خانوادگی دانشجو : نصیری اوانکی نام : کبری

عنوان پایان نامه :مطالعه قطبش آنی و پیزو الکتریکی ساختار نامتجانسAlGaN/GaN

استاد راهنما : دکتر منوچهر کلافی

استاد (اساتید) مشاور : دکتر حسن بیدادی

مقطع تحصیلی:کارشناسی ارشد رشته:فیزیک گرایش:جامد و الکترونیک دانشگاه: تبریز

دانشکده:فیزیک تاریخ فارغ التحصیلی: فروردین۸۲ تعداد صفحه:۹۹

کلید واژه‌ها: گاز الکترون دوبعدی ،قطبش خود بخود، قطبش پیزو الکتریک، ناهمواری مرز مشترک

در این کار پژوهشی تحرک پذیری گاز الکترونی دو بعدی(2DEG) درساختارهای نامتجانس AlGaN/GaN در حضور اثرات قطبشی خودبخود و پیزوالکتریکی محاسبه شده است.

محاسبات با استفاده از حل تحلیلی معادلات شرودینگر و پواسون صورت گرفته است.نتایج نشان می دهد علی رغم اینکه میدانهای قطبشی بطور قابل توجهی تراکم بار ورقه دوبعدی را افزایش میدهند،تحرک پذیری کاهش می یابد.با افزایش خمیدگی باندی و به دنبال آن جذب الکترونها به نزدیکی مرز مشترک پراکندگی ناهمواری در سطح افزایش وتحرک پذیری کاهش می یابد.برای محاسبه تحرک پذیری اکثر مکانیزمهای پراکندگی استاندارد به انضمام پراکندگی ناشی از فونونهای اپتیکی و اکوستیکی و ناهمواری مرز مشترک،پراکندگی آلیاژی و دهنده های یونیده و...نیز در نظر گرفته شده است.کاهش تحرک پذیری الکترونی نسبت به افزایش در صد مولی Al و نیز تغییرات چگالی بار ورقه و انرژی فرمی نسبت به افزایش در صد مولیAl بررسی شده است.همچنین تغییرات تحرک پذیری به ازای ضخامت های گوناگونی از سد و نیز به ازای مقادیر مختلف در صد Alدر سد و در دماهای خاص نیز مورد بحث قرار گرفته است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه ۱

بخش اول : بررسی منابع

فصل اول : بررسی ساختار گاز الکترونی دو بعدی در ترانزیستورهای HEMT

مقدمه ۳
۱-۱) بررسی ساختار MOSFET سیلیکون ۷
۱-۲) گاز الکترونی دوبعدی در ترانزیستورهای آلائیده مدوله (MODFET) ۱۰
۱-۳) گاز الکترونی دوبعدی درساختارهای نیتریدی III-V ۱٤
۱-۳-۱) ورقه بار قطبشی القایی ۱۸
۱-۳-۲) تراکم حاملهای باردر گاز الکترونی دوبعدی ۲٦

بخش دوم : روشهای تحقیق

فصل دوم: تاثیر مکانیزمهای پراکندگی بر تحرک پذیری الکترونی در 2DEG ساختار نا متجانس

مقدمه ۳۲
۲-۱) ساختار الکترونیکی گاز الکترونی دوبعدی (2DEG) ۳۳
۲-۲) مکانیزمهای پراکندگیهای موثروچگونگی تحدید الکترونها ۳۸

۲-۳) پراکندگیهای کشسان ٤٤

۲-۳-۱) پراکندگی فونون اکوستیکی ٤٥

الف) پراکندگی پتانسیل تغییر شکل اکوستیکی ٤٦

ب) پراکندگی پیزوالکتریکی اکوستیکی ٤٧

۲-۳-۲) پراکندگی کولمبی ٤٩

۲-۳-۳) پراکندگی بی نظمی آلیاژی ٥١

۲-۳-٤) پراکندگی دراثر دررفتگیها ٥٢

فصل سوم :اثرناهمواری مرز مشترک وپیزوالکتریک درتحرک پذیری الکترونی2DEGساختار نا متجانس

مقدمه ٥٩

۳-۱) مدل بندی تئوری ٦٠

۳-۱-۱) رشته خود هموردا و تابع خود برگشتی ٦٠

۳-۱-۲ مدل دو پارامتری ٦١

۳-۲) پراکندگی ناهمواری مرز مشترک ٦٥

۳-٤) ترکیب اثر ناهمواری مرز مشترک واثرپیزوالکتریک درساختار نامتجانسAlGaN/GaN...٦٨

بخش سوم : نتایج و بحث

فصل چهارم : بحث و نتیجه‌گیری ۷۳

مراجع ۹۶

مقدمه

ساختارهای نامتجانس بر پایه GaN گاف نواری در محدوده۶/۲eV-۱/۹ دارندو در ساخت ترانزیستورهای با تحرک‌پذیری بالابه جهت استفاده در میکروویوها با توان بالا/دمای بالا ونیز گسیل طول موجهای کوتاه در ابزارهای اپتو الکترونیکی اهمیت دارند. جدایی فضایی حاملهای بار از دهنده‌های یونیده، به شکل یک کانال گاز دو بعدی (2DEG) با چگالی بیش از $10^{13} cm^{-2}$ حتی در ساختارهای ناآلائیده نیز مشاهده می‌شود.عدم تقارن معکوس در این ساختارها قطبش خودبخود[1] ایجاد میکنداز طرفی اختلاف ثابتهای شبکه دوماده،میدان الکتریکی قطبشی القائی مضاعفی در این ساختار های نامتجانس ایجاد می کندکه چگالی بالای گاز دوبعدی این مواد نیتریدی گروه III با ساختار wurtzite را توجیه می کند.

تحرک پذیری کمیت ترابردی مهمی است که برای تعیین کارآیی ساختارهای HEMT[2] بکار می‌رود. مقدار این پارامتر در ساختارهای نامتجانس AlGaN/GaN یک ترانزیستور HEMT در دمای اتاق در محدودهٔ cm/V.s ۲۰۰۰-۱۰۰۰ بیان شده است که از مقدارگزارش شده برای GaN , SiC کپه ای کمی بزرگتر است .از آنجا که ترکیب بارورقه با چگالی بالاو مشخصه ترابردی خوب، جریان قابل ملاحظه ای(بیش از ۱A/mm) برای یک HEMTبر پایه AlGaN/GaNایجاد میکند،بررسی عوامل محدود کننده پارامترهای کاربردی اهمیت می یابند. تحرک پذیری حاملها با ترکیب مکانیزمهای مختلف پراکندگی محدود می‌شود. این عوامل محدود کننده به دو صورت ظاهر می‌شوند:دسته اول اثرات ذاتی است که به پراکندگی ناشی از بارهای ناخالص و در رفتیگها بر

---

[1] .Spontaneous

[2] .High Electron Mobility Transistor

می‌گردد و به تکنیکهای رشد و ساخت قطعه بستگی دارد.در دسته دوم اثرات غیر ذاتی بصورت پراکندگی ناشی از جذب و نشر فونونها آشکار می شود. از جمله فرایندهای موثر پراکندگی فونونی می توان پتانسیل تغییر شکل اکوستیکی و پیزوالکتریک اکوستیکی و فونون اپتیکی قطبی را نام برد . در دمای اتاق تحرک پذیری گاز الکترونی دو بعدی (2DEG) توسط پراکندگی کشسان، فونون اپتیکی قطبی، محدود می‌شود.

محاسبات تئوری تحرک پذیری گاز الکترونی دو بعدی توسط محققان مختلف بررسی شده است.در سال۱۹۹٦,Shur و همکارانش از تقریب سه بعدی برای بدست آوردن حد تحرک پذیری حاملهادر این ساختارها استفاده کردند.در سال ۱۹۹۷. walukiewicz،Hsuاثر محدود کننده فونون اپتیکی در دمای اتاق را با یک روش وردشی محاسبه نمودند.اما تاثیر میدانهای قطبشی و ناهمواری مرز مشترک رادر محا سباتشان در نظر نگرفته بودند.

در این کار پژوهشی ،محاسبه تحرک پذیری گاز الکترون دوبعدی در ساختار ناآلائیده AlGaN/GaN با استفاده از مکانیزمهای پراکندگی موثر و به ازای مقادیر مختلف Alانجام شده است.

در فصل اول با مروری بر ساختار های نامتجانس با تحرک پذیری بالا به معرفی دقیق ساختارهای نیتریدی و کار برد های آنهاپرداخته و میدانهای قطبشی در این مواد مورد بحث قرار می گیرد.در فصل دوم روی عوامل موثر محدود کننده تحرک پذیری الکترونی یا به عبارت دیگر روی مکانیزمهای پراکندگی موثر بحث می شود و در فصل سوم با وارد کردن اثر پیزوالکتریک و پراکندگی نا همواری مرز مشترک، تحرک پذیری کل محاسبه می شود .در خاتمه نتایج بدست آمده مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

بخش اول :

بررسی منابع

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فصل اول:

- بررسی ساختار گاز الکترون دو بعدی در ترانزیستورهای HEMT

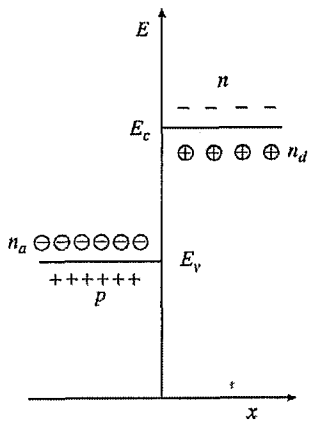
مقدمه:

نیمرساناها گروهی از مواد هستند که رسانایی الکتریکی آنها بین فلزات و عایق ها قرار دارد.

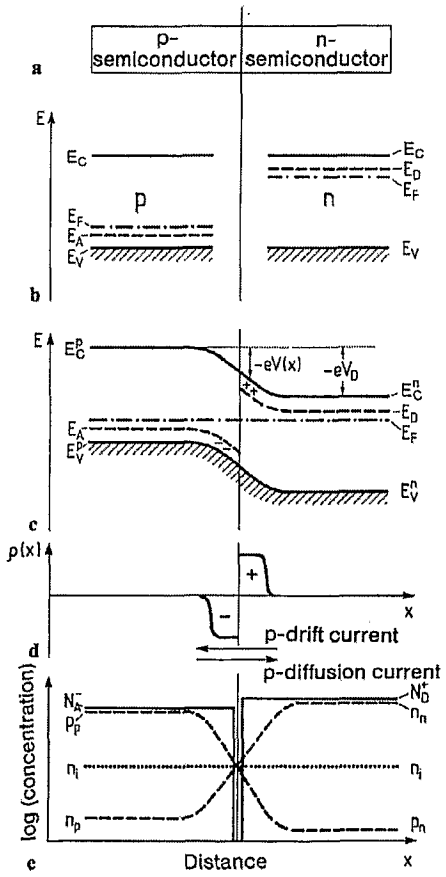
و یژگی مهم این مواد این است که رسانایی آنها با تغییر دما،برانگیزش نوری و میزان ناخالصی به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. این قابلیت تغییر خواص الکتریکی مواد نیمرسانا آنها را برای تحقیق در زمینه قطعات الکترونیکی مناسب ساخته است. حضور ناخالصیهایی که منبع بار آزاد هستند (درنیمرسانای نوع n) و نیز ناخالصیهایی که منبع حفره ها می‌باشند (نیمرسانای نوع p) خواص جدیدی در ساختارهای الکترونیکی ایجاد کرده‌اند.

در ماده نوع n، ناخالصی اصلی، دهنده‌ها و اکثریت حاملها، الکترونهای رسانشی ناشی از یونش اتمهای دهنده می‌باشد در حالیکه در ماده نوع p، ناخالصی اصلی پذیرنده‌ها و حاملهای اصلی، حفره‌هایی هستند که با گذار الکترونها از باند ظرفیت، اتمهای پذیرنده دارای بار منفی شده و حفره ها در باند ظرفیت باقی می‌مانند. در دماهای غیرصفر درهر دو ماده الکترونهای رسانشی و حفره‌های ناشی از برانگیختگی الکترونهایی که از گاف نواری عبورکرده‌اند نیز حضور دارند. حفره‌هایی که بطور گرمایی برانگیخته شده‌اند، در مواد نوع n و الکترونهای رسانشی در ماده نوع p حاملهای اقلیت نامیده می‌شود. باتزریق اتمهای ناخالصی پذیرنده و دهنده به دو سر یک نیمرسانای ناآلائیده خالص، اتمهای ناخالصی به درون نیمرسانا نفوذ کرده، مرز مشترکی بین نواحی نوع pوn ایجاد می‌شود. تراکم اتمهای آلایشی در این نوع مواد از یک سر قطعه به سر دیگر آن بطور پیوسته تغییر می‌کند و از آنجا که پذیرنده‌ها و دهنده های سطحی در دمای اتاق انرژی یونشی از مرتبه k_bT دارند،عملاً همه پذیرنده‌ها و دهنده‌ها در دمای اتاق یونیده‌اند. این بدین معنی است که تراکم الکترونهای آزاد به اندازه

الکترونهای آزاد به اندازه تراکم اتمهای دهنده‌های N_d در تراکم حفره‌های p در باند ظرفیت تقریباً برابر با تراکم پذیرنده‌های یونیزه N_a تزریق شده به نمونه است. (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱) : نمایش باندی پیوند گاه **P-n**



شکل (۱-۲) نمایش طرحوار یک اتصال **p-n** در تعادل گرمایی . **a**.یک کریستال نیمرسانای آلائیده یک طرفش با پذیرنده‌های (N_a) و طرف دیگرش با دهنده‌های (N_d) آلائیده شده است **b**. طرح باندی برای قسمتهای **n** و **p**. E_D, E_A حالتهای زمینه دهنده‌ها و پذیرنده‌ها را نشان می‌دهد. E_f تراز فرمی. **c**. طرح باندی اتصال **p-n** را وقتی که دو طرف در تعادل گرمایی با یکدیگرند، نشان می‌دهد. فرض شده که گذار از ناحیه با آلایش **p** به **n** بطور ناگهانی باشد. موقعیت لبه باند ظرفیت و رسانش در ناحیه **p** با E_V^p و E_C^p و در ناحیه **n**، با E_V^n و E_C^n نشان داده شدهV_D ولتاژ نفوذی است اما درناحیه پیوندگاه **p-n** ماکروپتانسیل **V(x)** القا می‌شود.**d**.بار فضای ثات در ناحیه پیوند گاه**p-n** در نتیجه ناخالصلی یونیزه.**e**،رفتار پذیرنده هایN_a و دهنده هایN_d و حفره های**p** و الکترونهای آزاد**n**.تراکم ذاتی و p_p ،p_nبه ترتیب تراکم حفره هاب نفوذی در ناحیه**p** و**n** است.