بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: فیزیک

گروه: حالت جامد

خواص الکتریکی گاز الکترون دو بعدی در ساختارهای ناهمگون نیمرساناهای نیتروژندار رقیق

دانشجو: مهناز موتابیان

استاد راهنما:

دکتر حسین عشقی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا به توانی برسم، موهایشان سپیدگشت تا رویم سپید بماند، آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانه زندگی من است.

آنان که راستی قامتم در شکستگی قامتشان تجلی یافت. در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می نهم و با دلی مملو از عشق و محبت و خضوع بر دستانشان بوسه می زنم.

سرو وجودشان همیشه سبز و استوار باد

و

تقدیم به برادر و خواهرانم

تقدیر و تشکر

با یاد هستی بخش

سپاس پروردگار یکتایی که به انسان قدرت تفکر و تعقل عنایت فرمود و وجود انسان را به زیور علم و معرفت بیاراست.

تقدیر و سپاس فراوان از استاد راهنما جناب آقای دکتر حسین عشقی که در کلیه مراحل این پژوهش با راهنماییهای عالمانه، مشفقانه، متعهدانه و بسیار ارزنده خود راهگشایم بوده اند.

از اساتید ارجمند دکتر قاضی و دکتر حسامی که داوری این پایان نامه را تقبل نموده اند صمیمانه تشکر می نمایم.

از تمامی اساتیدی که در طی دوره تحصیلی از محضرشان بهره مند شدم تشکر می نمایم.

همچنین از یاری و همفکری همه دوستان عزیزم سپاسگزارم.

توفیق و سلامتی همه این عزیزان را از خداوند بزرگ خواهانم.

تعهد نامه

اینجانب مهناز موتابیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک-حالت جامد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: خواص الکتریکی گاز الکترون دو بعدی در ساختارهای ناهمگون نیمرساناهای نیتروژندار رقیق.تحت راهنمائی دکتر حسین عشقی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در دهه اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه خواص فیزیکی $(In)GaAs_{1-x}N_x$ به عنوان نیمرساناهای نیتروژندار رقیق صورت گرفته است. این مواد با ویژگی کوچکی و مستقیم بودن گاف نواری در محدوده ۱ الکترون ولت از کاربرد بالایی در قطعات الکترونیک و اپتوالکترونیک برخوردارند. در این بین ساختار ناهمگون $AlGaAs/(In)GaAs_{1-x}N_x$ با چاه های کوانتومی مربعی و مثلثی، با توجه به خصوصیت منحصر بفرد آن که امکان تشکیل کانالی رسانا از یک گاز الکترون دو بعدی (2DEG) را در نزدیکی فصل مشترک فراهم می سازد توجه زیادی را به خود معطوف کرده است.

در این رساله ما علاقه مند به بررسی نظری خواص ترابری الکتریکی گاز الکترون دو بعدی در ساختارهای ناهمگون مختلف در مواد نیمرسانای نیتروژندار رقیق است که غالبا به روش MBE رشد یافته اند. این محاسبات عمدتا مبتنی بر درنظرگیری توزیع فرمی-دیراک و استفاده از قاعده ماتیسن در مطالعه تغییرات تراکم و تحرک الکترونی بر حسب دما می باشد. بنابر نتایج بدست آمده: (الف) سازوکارهای پراکندگی آلیاژ کتره ای، به خصوص آلیاژ خوشه ای و نیز دررفتگیهای بلوری وابسته به اتمهای N نقش غالب را در کاهش تحرک الکترون دو بعدی (2D) ایفا می کنند. (ب) افزایش کسر مولی نیتروژن در لایه چاه کوانتومی به افزایش ترازهای به دام اندازنده منجر شده و این خود سبب کاهش تراکم الکترونی می گردد. (ج) فرایند بازپخت سبب کاهش نقایص بلوری شده و همین امر به افزایش تحرک الکترونی در ماده منجر می گردد.

کلمات کلیدی: نیمرسانای نیتروژندار رقیق، ساختار ناهمگون، گاز الکترون دو بعدی، ، خواص ترابری الکتریکی، سازوکارهای پراکندگی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- (ISI journal paper) Eshghi, Hosein; Mootabian, Mahnaz " *A quantitative study on the effect of nitrogen concentration on two dimensional electron gas (2DEG) mobility in dilute nitride GaAsN/AlGaAs heterostructure* " Solid State Communications **151** (2011) 80–83.

2- Mootabian, Mahnaz; Eshghi, Hosein "*Study on electrical transport properties of 2-dimensional electron gas in dilute nitride GaAs(N)/AlGaAs nano-heterostructure*" international congress on nanoscience and nanotechnology shiraz (2010).

۳- موتابیان، مهناز ؛ عشقی، حسین "*بررسی کمی تاثیر بازپخت بر تحرک گاز الکترون دو بعدی (2DEG) در ساختارهای ناهمگون نیمرسانای نیتروژندار رقیق GaAsN/AlGaAs*" دهمین کنفرانس ماده چگال، دانشگاه شیراز (۱۳۸۹).

۴- موتابیان، مهناز ؛ عشقی، حسین "*بررسی نظری تراکم نیتروژن بر خواص ترابری الکتریکی در چاه های کوانتومی با ساختار ناهمگون نیتروژندار رقیق InGaAsN/GaAs - نوع n*" کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه ارومیه (۱۳۹۰).

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مروری بر مقالات.....۱

فصل دوم: بررسی ساختار نواری در نیمرساناهای آلیاژی نیتروژندار رقیق.....۶

۲-۱ گاف نواری و پارامتر خمش.....۷

۲-۲ ساختار نواری در نیمرساناهای نیتروژندار رقیق. مدل برهمکنش تقاطع نواری (BAC) ۱۰
و مدل k.p

۲-۳ جرم موثر الکترون.....۱۳

فصل سوم: بررسی ساختار ناهمگون.....۱۶

۳-۱ آشنایی با ساختار ناهمگون.....۱۷

۳-۲ پدیده حبس کوانتومی حاملها در شرایط دو بعدی.....۲۰

۳-۲-۱ ترازهای انرژی در چاه کوانتومی مربعی.....۲۰

۳-۲-۲ ترازهای انرژی در چاه کوانتومی مثلثی.....۲۱

۳-۲-۳ چگالی حالتها و چگالی الکترونها در چاه کوانتومی.....۲۲

۳-۳ اثر فوتو رسانش پایدار.....۲۵

فصل چهارم: نظریه ترابری حاملها در میدان ضعیف در ساختار ناهمگون.....۲۷

۴-۱ مقدمه.....۲۸

۴-۲ فرایندهای ذاتی پراکندگی حاملها.....۳۰

۴-۲-۱ پراکندگی پتانسیل تغییر شکل آکوستیک.....۳۰

۴-۲-۲ پراکندگی پیزوالکتریک.....۳۰

۴-۲-۳ پراکندگی فونونهای قطبی-نوری.....۳۱
۴-۳ فرایندهای غیرذاتی پراکندگی حاملها.....۳۲
۴-۳-۱ پراکندگی وابسته به ناخالصیهای یونیده در داخل لایه سد.....۳۲
۴-۳-۲ پراکندگی وابسته به ناخالصیهای یونیده بار فصل مشترک.....۳۲
۴-۳-۳ پراکندگی دررفتگی.....۳۳
۴-۳-۴ پراکندگی آلیاژ کتره ای.....۳۴
۴-۳-۵ پراکندگی آلیاژ خوشه ای.....۳۵
۴-۳-۶ ترکیب انواع سازوکارهای پراکندگی به کمک قاعده ماتیسن.....۳۵
۴-۴ رسانش موازی.....۳۶
۴-۵ پارامترهای مادی GaAs.....۳۸
فصل پنجم: بررسی نظری داده های تجربی.....۴۰
۵ -۱ بررسی ترابری الکترونی در چاه های کوانتومی مربعی ساختارهای ناهمگون نیتروژندار رقیق ایندیوم دار InGaAsN/GaAs.....۴۱
۵-۱-۱ تاثیر تراکم نیتروژن بر تراکم گاز الکترون دو بعدی.....۴۴
۵-۱-۲ تاثیر تراکم نیتروژن بر تحرک گاز الکترون دو بعدی.....۴۵
۵ -۲ مطالعه نقش غلظت نیتروژن و بازپخت در تحرک پذیری الکترونها در ساختارهای ناهمگون GaAsN/AlGaAs با چاه کوانتومی مثلثی.....۴۹
۵-۲-۱ تاثیر نیتروژن بر تحرک گاز الکترون دو بعدی.....۴۹
۵-۲-۲ تاثیر بازپخت بر تحرک گاز الکترون دو بعدی.....۵۲
۵-۳ بررسی وابستگی تحرک الکترونی به تراکم گاز الکترون دو بعدی در ساختار ناهمگون نیتروژندار رقیق GaAsN/AlGaAs در دمای T = ۴ K.....۶۰

۵-۴ نتیجه گیری.....۶۵
مراجع.....۶۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱): طرحی ساده از توزیع نیتروژن در (الف) GaAsN و (ب) InGaAsN.....۹

شکل (۲-۲): شکافتگی نوار رسانش مربوط به پیش بینی مدل BAC در (الف) $GaAsN_{0.005}$ و (ب) $In_{0.04}GaAsN_{0.01}$.....۱۱

شکل (۲-۳): تطابق مدل BAC (خط توپر) با داده های تجربی مربوط به تغییرات گاف نواری بر حسب ترکیب نیتروژن در GaAsN.....۱۲

شکل (۲-۴): پیش بینی های مدل BAC و k.p در مورد جرم موثر الکترون در $GaAs_{1-x}N_x$.....۱۴

شکل (۲-۵): جرم موثر الکترون بر حسب بردار موج فرمی در آلیاژ InGaAsN و GaAs.....۱۴

شکل (۲-۶): تغییرات جرم موثر الکترون بر حسب گاف نواری در آلیاژهای نیمرسانای معمولی.....۱۵

شکل (۲-۷): تغییرات جرم موثر در $GaAs_{1-x}N_x$ برحسب گاف نواری.....۱۵

شکل (۳-۱): طرح شماتیکی از نحوه لایه نشانی و ساختار نواری در یک چاه کوانتومی یگانه و یک ساختار چاه کوانتومی چندگانه.....۱۷

شکل (۳-۲): چاه کوانتومی مثلثی در محل فصل مشترک ساختار ناهمگون GaAsN/AlGaAs.....۱۸

شکل (۳-۳): طرح شماتیکی از نحوه لایه نشانی و ساختار نواری در ساختار MODFET.....۲۰

شکل (۳-۴): ترازهای انرژی در چاه کوانتومی مربعی.....۲۱

شکل (۳-۵): رابطه چگالی حالتها با انرژی در ساختارهای (الف) دو بعدی و (ب) سه بعدی.....۲۳

شکل (۴-۱): وابستگی دمایی تحرک الکترونی محاسبه شده به صورت نظری در نیمرسانای نیتروژندار رقیق GaN_xAs با x های متغییر.....۳۳

شکل (۴-۲): مقادیر نظری تحرک الکترونی حاصل از پراکندگی آلیاژ خوشه ای در GaN_xAs در بازه

۰/۰۰۱ < x < ۰/۰۲.....۳۵

شکل (۴-۳): طرح شماتیکی از دو لایه رسانش.....۳۷

شکل (۵-۱): طرح ساختاری لایه ها در نمونه های سان و همکاران با مقادیر کسر مولی نیتروژن متفاوت.....۴۲

شکل (۵-۲): داده های تجربی تراکم و تحرک الکترونی در ساختار ناهمگون $In_{0.3}Ga_{0.7}As_{1-x}N_x/GaAs$ با مقادیر x=۰/۴٪ (مربع نقطه دار) و x=۱٪ (دایره نقطه دار).....۴۳

شکل (۵-۳): بستگی دمایی تراکم و تحرک گاز الکترون دو بعدی در ساختار $In_{0.3}Ga_{0.7}As_{1-x}N_x$ / GaAs با مقادیر x=۰/۴٪ (مربع ها) و x=۱٪ (دایره ها).....۴۳

شکل (۵-۴): طرحی از ترازهای کوانتیده انرژی و تراز انرژی فرمی در چاه کوانتومی مربعی با مقادیر کسر مولی نیتروژن (الف) x=۰/۴٪ و (ب) x=۱٪.....۴۵

شکل (۵-۵): نتایج بررسی نظری وابستگی دمایی تحرک گاز الکترون دو بعدی در نمونه های (الف) $In_{0.3}Ga_{0.7}As_{0.996}N_{0.004}$ / GaAs و (ب) $In_{0.3}Ga_{0.7}As_{0.99}N_{0.01}$ / GaAs.....۴۸

شکل (۵-۶): طرح ساختاری لایه ها در نمونه های مولت و همکاران با مقادیر کسر مولی نیتروژن متفاوت.....۴۹

شکل (۵-۷): داده های تجربی مربوط به وابستگی دمایی تحرک گاز الکترون دو بعدی در نمونه های بدون بازپخت مولت و همکاران.....۵۰

شکل (۵-۸): نتایج بررسی نظری وابستگی دمایی تحرک گاز الکترون دو بعدی در نمونه های بدون بازپخت (الف) N0، (ب) N002، (ج) N012 و (د) N06.....۵۱

شکل (۵-۹): طرح ساختاری لایه ها در نمونه های فاولر و همکاران با مقادیر کسر مولی نیتروژن متفاوت.....۵۳

شکل (۵-۱۰): داده های تجربی مربوط به وابستگی دمایی تحرک گاز الکترون دو بعدی در نمونه های بازپخت شده فاولر و همکاران.....۵۴
شکل (۵-۱۱): طرحی از ترازهای کوانتیده انرژی و تراز انرژی فرمی در چاه کوانتومی مثلثی در نمونه های (الف) N0، (ب) N01 و (ج) N04.....۵۵
شکل (۵-۱۲): تغییر عرض چاه کوانتومی بر حسب تراکم گاز الکترون دو بعدی.....۵۶
شکل (۵-۱۳): نتایج بررسی نظری وابستگی دمایی تحرک گاز الکترون دو بعدی در نمونه های بازپخت شده (الف) N0، (ب) N01 و (ج) N04.....۵۸
شکل (۵-۱۴): مقایسه تراکم ناخالصیها در چاه پتانسیل پیوندگاه ناهمگون (N_{bi}) و تراکم دررفتگیها (N_{dis}) بر حسب کسر مولی نیتروژن در نمونه های بدون بازپخت (خط چین) و بازپخت شده (خط پر) (جداول ۵-۳ و ۵-۵).....۵۹
شکل (۵-۱۵): طرح ساختاری لایه ها در نمونه های ریسون و همکاران با مقادیر کسر مولی نیتروژن متفاوت.....۶۰
شکل (۵-۱۶): داده های تجربی تحرک الکترونی در ساختار $GaAsN_x/AlGaAs$ با مقادیر $x=0$ (مثلث ها) و $x=0/08\%$ (لوزی ها) در 4K.....۶۱
شکل (۵-۱۷): بررسی نظری ریسون و همکاران در ساختار $GaAsN_x/AlGaAs$ با مقادیر $x=0$ (مثلث ها) و $x=0/08\%$ (لوزی ها) ۶۲
شکل (۵-۱۸): نتایج بررسی نظری تحرک الکترونی بر حسب تراکم گاز الکترون دو بعدی در نمونه های (الف) بدون نیتروژن و (ب) نیتروژندار بسیار رقیق.....۶۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): مقادیر پارامتر خمش گاف نواری نیمرساناهای آلیاژی سه تایی.....۸

جدول (۲-۲): کمیتهای معرفی شده در معادله (۲-۳) مربوط به بعضی از نیمرساناهای نیتروژندار رقیق.....۱۱

جدول (۴-۱): پارامترهای مادی GaAs که در محاسبات مورد استفاده گرفته اند.....۳۹

جدول (۵-۱): محاسبات مربوط به تراز های کوانتیده انرژی و اختلاف تراز فرمی با تراز اول انرژی در نمونه های سان و همکاران.....۴۵

جدول (۵-۲): پارامترهای برازشی محاسبه شده در نمونه های با چاه های کوانتومی مربعی با ساختار $InGaAsN_x/GaAs$.....۴۷

جدول (۵-۳): پارامترهای برازشی محاسبه شده در نمونه های مولت و همکاران.....۵۱

جدول (۵-۴): محاسبات مربوط به ترازهای کوانتیده انرژی و اختلاف تراز فرمی با تراز اول انرژی در نمونه های فاولر و همکاران.....۵۵

جدول (۵-۵): پارامترهای برازشی محاسبه شده در نمونه های مورد بررسی.....۵۹

جدول (۵-۶): پارامترهای برازشی حاصل از محاسبات ما در نمونه های $GaAsN_x/AlGaAs$ ریسون و همکاران.....۶۳

فصل اول

مروری بر مقالات

نیمرساناها از مهمترین و کاربردی ترین موادی هستند که در صنایع فوتونیک و اپتوالکترونیک نقش عمده ای ایفا می کنند. علت این امر ناشی از ویژگی خاص این مواد است که تراکم و نوع حاملها در آنها قابل کنترل بوده و می توان از آنها برای طراحی قطعات با اهداف مشخص استفاده نمود.

در اوایل دهه ی ۹۰ میلادی افزودن عناصری از گروه V جدول تناوبی به ترکیب GaAs نتایج جالب دیگری را به دنبال داشت. از مهمترین این عناصر می توان به آلایش این ماده به نیتروژن (N) اشاره کرد. گزارشات تجربی [۱ و ۲] در این زمینه بیانگر کاهش قابل ملاحظه ی گاف نواری این ترکیبات آلیاژی با اضافه شدن کسر مولی نیتروژن (x) کمتر از ٪ ۵ به ترکیب GaAs (تشکیل آلیاژ $GaAs_{1-x}N_x$) می باشد که رفتاری متفاوت با آلیاژهای معمول دارد. امروزه به این ترکیبات نیمرسانایی، نیمرساناهای نیتروژندار رقیق[1] گفته می شود. این ترکیبات نیمرسانایی که به صورت کلی III – V – N نمایش داده می شوند، می توانند در ترکیب آلیاژهای سه تایی[2] مانند: $GaAs_{1-x}N_x$، $GaP_{1-x}N_x$، $InAs_{1-x}N_x$ و... و چهارتایی[3] مانند: $In_yGa_{1-y}As_{1-x}N_x$، $Al_yGa_{1-y}As_{1-x}N_x$ و ... رشد داده شوند. در رشد لایه های تک بلوری به منظور کاربرد در ساختارهای ناهمگون غالبا از روشهای مختلف از جمله MBE[4]، MOCVD[5]، MOVPE[6] و CBE[7] استفاده می شود که در این میان روش MBE روش مرسوم تری است. در این روش رشد لایه ها غالبا در دماهای نه چندان بالا انجام می شود [۳ و ۴]. در این مورد برای مثال با روش MBE برای رشد GaAs از دمای ۶۰۰°C و برای رشد لایه نیتروژندار رقیق GaAsN از دمایی در حدود ۵۰۰°C استفاده می شود [۵ و ۶]. دمای رشد پایین باعث رشد نامطلوب لایه مورد نظر می شود. برای کاهش نقایص ساختاری و عدم یکنواختی عناصر در ترکیب های آلیاژهای نیتروژندار رقیق که در رشد با دمای پایین اتفاق می افتد و همچنین از بین

1- Dilute Nitride Semiconductors
2- Ternary
3- Quaternary
4- Molecular Beam Epitaxy
5- Metal – Organic Chemical – Vapor Deposition
6- Metal – Organic Vapor Phase Epitaxy
7- Chemical Beam Epitaxy

بردن تنشهای ساختاری، نمونه مورد نظر برای مدت زمان مشخص و در دمای خاصی حرارت داده می شود که این فرایند را بازپخت می نامند. علاوه بر این، ساختار این مواد می تواند به صورت کپه ای (حجمی) و یا دو بعدی (چاه کوانتومی) باشد. اضافه شدن نیتروژن به میزان کم می تواند رفتارهای غیر مرسوم مانند: بزرگی قابل توجه پارامتر خمش[1] در گاف نواری، افزایش جرم موثر و کاهش تراکم و تحرک الکترونی را به دنبال داشته باشد. در آلیاژهای نیتروژندار رقیق تغییرات گاف نواری با یک خمش بزرگ همراه است که ناشی از تفاوت قابل ملاحظه به لحاظ اندازه اتمی و نیز الکترونگاتیویته نیتروژن با اتمهای جایگزین شده As است. مقدار پارامتر خمش در مورد $GaAs_{1-x}N_x$ بین ۲۶ eV - ۱۶ بوده و شدیدا" وابسته به غلظت نیتروژن (x) است و با افزایش نیتروژن مقدار آن کم می شود [۷-۹]. این در حالی است که در آلیاژهای نیمرسانای مرسوم، مقدار پارامتر خمش مقداری ثابت و در حدود ۱ eV است [۱۰]. افزودن درصد کمی نیتروژن به ترکیبات III – V منجر به کاهش بزرگی در گاف نواری آلیاژهای نیتروژندار رقیق می شود. با استفاده از مدل برهمکنش تقاطع نواری[2] (BAC) می توان به خوبی موقعیت گاف نواری را پیش بینی کرد. به خاطر برهمکنش نوار رسانش ماده میزبان با تراز جایگزیده نیتروژن، نوار رسانش به دو زیر نوار غیر سهمی E_- و E_+ شکافته می شود [۱۱]؛ حضور این تراز تاثیر چندانی بر نوار ظرفیت ندارد [۱۲ و ۱۳]. مدل BAC که توضیح ساده و قابل تحلیلی برای محاسبه ی خواص الکتریکی و اپتیکی آلیاژهای نیتروژندار رقیق بدست می دهد توسط شان و همکارانش [۱۴] توسعه یافته است. همانگونه که گفته شد در نیمرساناهای نیتروژندار رقیق، قرارگیری نیتروژن در شبکه GaAs سبب اختلال در نوار رسانش می گردد که این خود به تغییر جرم موثر الکترون می انجامد [۸]. مشاهدات تجربی نشان می دهند که با اضافه شدن ٪۱ نیتروژن در GaAs، جرم موثر الکترون از $0.067\ m_0$ به $0.1\ m_0$ افزایش می یابد [۱۵]. لازم به ذکر است که این نیز رفتاری غیر مرسوم است، زیرا در دیگر نیمرساناها با کاهش گاف نواری، جرم موثر الکترون نیز کاهش می یابد [۱۰]. علاوه بر نظریه BAC نظریه دیگری موسوم به k.p نیز پیش بینی می کند که با

1- Bowing parameter
2- Band Anti Crossing

افزایش نیتروژن در GaAsN رقیق، جرم موثر الکترون افزایش می یابد، بطوری که با افزایش x تـا ۱٪ آهنگ تغییرات بسیار به سرعت صورت گرفته و از آن پس روند آن بسیار کنـد مـی شـود [۸]. نتـایج نظریه های مرتبط با این کمیت در بخش ۲-۳ با جزئیات بیشتر شرح داده شده است.

نخستین بار در سال ۱۹۷۸ دینگل و همکارانش [۱۶] سـاختار نـاهمگون GaAs/AlGaAs را بررسی و وجود گاز الکترون دو بعدی[1] (2DEG) را در این ساختار مورد تایید قرار دادند. اندازه گیـری های تجربی نشانگر آن است که در این ساختارها وابستگی دمایی تراکم الکترونی بسیار ناچیز است که این خود یکی از نشانه های وجود گاز الکترون دو بعدی است. نتایج تجربی همچنین نشانگر آن اسـت که با افزایش غلظت نیتروژن در لایه GaAs، تراکم گاز الکترون دو بعدی کاهش می یابد. این امـر بـه تشکیل ترازهای تلـه ای وابـسته بـه اتمهـای نیتـروژن در گـاف نـواری نـسبت داده شـده انـد [۱۷]. الکترونگاتیویته بالای اتم نیتروژن و همچنین تشکیل تجمعات خوشه ای نیتروژن در لایـه مـورد نظـر باعث بوجود آمدن ناهمگونی و ایجاد انحرافات پتانسیل تناوبی در شبکه بلورین می شود و در نتیجه بر روی ترابری حاملها و بازدهی قطعات تاثیر نامطلوب می گذارد. در ساختار نـاهمگون GaAs/AlGaAs، در دمای اتاق تحرک الکترونی تقریبا ۷۰۰۰ $cm^2/V.s$ گزارش شـده اسـت، در حـالی کـه در سـاختار نـاهمگون GaAsN/AlGaAs بـه ازای مقـدار نـاچیزی از کـسر مـولی نیتـروژن (x = ۰/۴٪)، تحـرک الکترونی به ۳۰۰ $cm^2/V.s$ کاهش می یابد [۱۸]. این تغییر فاحش می تواند به شـیوه توزیـع فـضایی اتمهای نیتروژن در لایه GaAsN مربوط باشد. در GaAsN پیش بینی های نظری حـاکی از آن اسـت که منشا این پراکندگی علاوه بر اتمهای منفرد نیتروژن، جفتهای N-N و بویژه خوشه هـای نیتروژنـی باشد [۱۹]. مطالعات تجربی نشان داده اند وابستگی دمایی تحرک الکترونی در نمونه هـای نیتروژنـدار در بازه دمایی ۳۰۰-۱۰۰ K بسیار ضعیف بـوده و سـازوکار پراکنـدگیهای فونـونی نقـش اصـلی را در کنترل تحرک حاملها به عهده ندارند [۵ و ۱۸]. بدین ترتیب با توجه به تاثیر نیتروژن هـم در افـزایش پراکندگی الکترونی و هم در افزایش جرم موثر آنها، روی هم رفته تحـرک الکترونـی کـاهش شـدیدی

1- Tow Dimentional Electron Gas

پیدا می کند. نتایج تجربی گزارش شده در این موارد در فصل پنجم ارائه و مورد تجزیه و تحلیل نظری قرار گرفته اند.

خواص منحصر بفرد نیمرساناهای نیتروژندار رقیق سبب شده است که به عنوان ماده ای جالب توجه در دیود لیزرهای فروسرخ، سلولهای خورشیدی چند پیوندگاهی با بازده بالا، آشکارساز های نوری و ترانزیستورهای دوقطبی ناهمگون[1] (HBTs) با عملکرد بالا مورد توجه زیادی قرار گیرد [۲۰-۲۳].

1- Heterojunction Bipolar Transistors

فصل دوم

بررسی ساختار نواری در نیمرساناهای آلیاژی

نیتروژندار رقیق