سومین همایش علمی- تخصصی فیزیک دانشگاه پیام نور
دانشگاه پیام نور استان خوزستان - 23 الی 25 آذر 1387

خواص ترابرد الکترونهاي داغ در حالت پایدار در نیمرساناي InN

هادی عربشاهی[1] ، محمد رضا خلوتی [2]
[1]گروه فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد
[1]گروه فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

InN
.
InN .
4.1×10^{5} m/s
. 3.5×10^{5} m/s
.
GaAs GaN
.

کلید واژه- ترابرد الکترونی ، سرعت سوق ، میدان آستانه ، آهنگ های پراکندگی ، تحرک پذیری الکترونی

Hot Electron Transport Properties in InN at Steady-State condition

H. Arabshahi [1], M. Khalvati[2]

[1]Ferdowsi University of Mashhad, [2]Shahrod University

Abstract- An ensemble Monte Carlo simulation is used to calculate high field electron transport in bulk InN material. In particular, velocity field characteristic, valley occupancy and kenetic energy are examined. It is found that maximum electron drift velocity only occurs when the electric field is increased to a value above a certain critical field. This critical field is strongly depenent on the material parameters. Themperature dependent of electron velocity field have also been calculated. Our results show a good agreement with other calculation results.

Keywords: Steady-state; velocity field; critical field; ensemble Monte Carlo.

1- مقدمه

در سال های اخیر گروه نایترایدها – III (GaN ، InN) به دلیل داشتن گاف نواری بزرگ، از پیشرفت های قابل ملاحظه ای در توسعه ابزار های نوری و الکترونیکی مانند ترانزیستور های اثر میدان، دیدود های گسیل نوری و دیود های لیزری که در محدوده طیفی ماورا بنفش، آبی و سبز کار می کنند برخوردار بوده است [1]. در این میان ایندیوم نایترایدنسبت به گالیوم نایترایدخصوصیات ترابرد الکترونی بهتری در گستره دمایی 150 تا 500 کلوین دارد. از این رو این ماده قابلیت استفاده شدن در ساخت قطعات الکترونیکی و

اپتوالکترونیکی را دارد[2]. این ماده در ساختار کریستالی شش گوشی (hex) و نوع ساختار ورتسایت (Wurtzite) رشد می یابد[3].

2- جزئیات مدل مونت کارلو

روش مونت کارلو که اساس کار این مقاله می باشد بررسی خواص الکترونیکی بیشتر نیمرسانا ها و ساختار قطعات را گسترش داده است. تعداد ذرات شبیه سازی شده، ده هزار در نظر گرفته شده است که بر طبق آمار ماکسول – بولتزمن در فضای اندازه حرکت توزیع شده اند. الکترونها در ماده تحت اثر پراکندگی از فنون های اپتیکی قطبی و فنون های آکوستیکی و فنون های بین دره ای پراکندگی ناشی از پراکندگی ناخالصی های یونیزه قرار می گیرند. پراکندگی کشسان ناخالصی های یونیزه نیز توسط پتانسیل پوششی کولمب از نوع Brooks – Herring در نظر گرفته شده اند[4].

در ساختار ورتسایت InN از تقریب سه دره ای (Γ, Γ_3, A) در دو نوار اول هدایت استفاده شده است. گاف انرژی و جرم موثر و انرژی فنون های اپتیکی و آکوستیکی از محاسبات شبه پتانسیل و تجربی بدست آمده اند. پارامتر های مهم که در شبیه سازی بکار برده شده اند در جداول 1 و 2 نشان داده شده است[5].

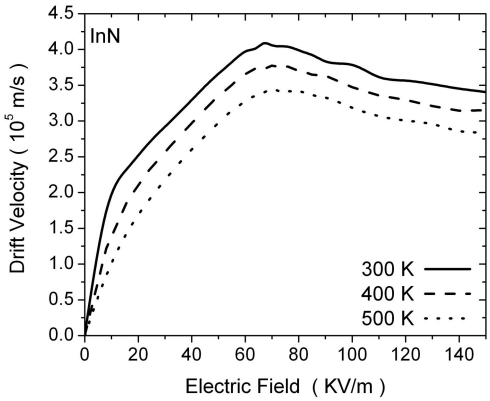
جدول 1 : پارامتر های فیزیکی مربوط به InN در دمای اتاق.

6810	چگالی cm^{-3}
15.3	ثابت دی الکترونیک در فرکانس های بالا ε_∞
8.4	ثابت دی الکترونیک در فرکانس های پایین ε_0
73	انرژی فونون های اپتیکی meV
7.1	پتانسیل تغییر شکل آکوستیکی eV
5100	سرعت صوت ms^{-1}

جدول 2 : مشخصات نواری استفاده شده در شبیه سازی مونت کارلو برای ساختار ورتسایت InN

نام دره	Γ	Γ_3	A
تعداد دره ها	1	1	1
جرم موثر الکترون m^*/m_0	0.11	1.0	1.0
گاف انرژی eV	1.95	2.45	4.55

3- نتایج

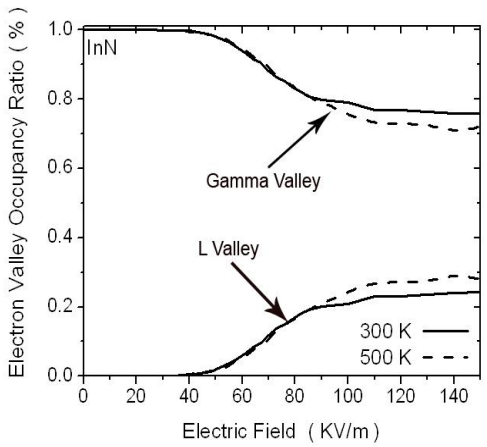


شکل 1: نمودار حالت پایدار سرعت سوق الکترونی بر حسب میدان الکتریکی اعمال در سه دمای 300 و 400 و 500 کلوین در نیمرسانای InN.

شکل 1 نمودار سرعت سوق الکترونی را بر جسب میدان الکتریکی در سه دمای متفاوت نشان می دهد. چگالی ناخالصی $10^{17}\ cm^{-3}$ در نظر گرفته شده است. چنانچه از این شکل ملاحضه می شود در دمای اتاق (300 K) سرعت سوق الکترون ها در میدان آستانه ای از مرتبه 65×10^5 V/m پیکی از مرتبه 4.1×10^5 m/s می زند و در میدان های بالاتر از این میدان آستانه، سرعت سوق کاهش می یابد و به حد اشباعی از مرتبه 3.2×10^5 m/s می رسد. علت چنین رفتاری این است که در میدان های بالاتر از میدان آستانه الکترونها از دره مرکزی Γ به دره های بالاتر انرژی (Γ_3 و A) پراکنده می شوند و از آنجا که جرم موثر الکترونی در دره های فضایی بیشتر از دره مرکزی

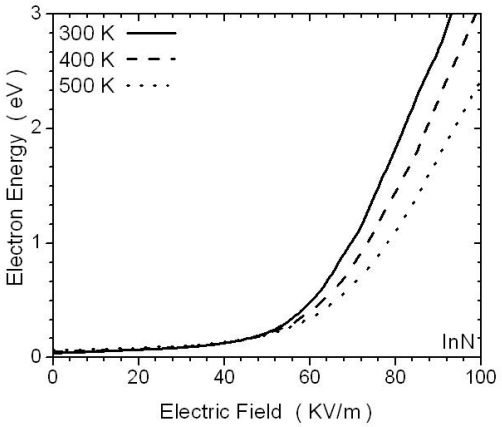
است، پراکندگی های ناشی از فنون های اپتیکی بین دره ای افزایش می یابد و در نتیجه سرعت سوق الکترونها کاهش می یابد. این نتایج با کارهای دیگران در توافق خوبی است[6].

با توجه به شکل 1 مشاهده می شود که با افزایش دما پیک نمودار سرعت سوق الکترون ها کاهش می یابد و به سمت میدان های بالاتر از 65×10^{5} V/m متمایل می شود. این کاهش سرعت سوق در دما های متفاوت، ناشی از افزایش پراکندگی الکترونها توسط فنون های اپتیکی قطبی درون دره ای و کاهش پراکندگی بین دره ای می باشد. بنابراین سرعت سوق الکترونی به طور قابل ملاحضه ای کاهش می یابد.



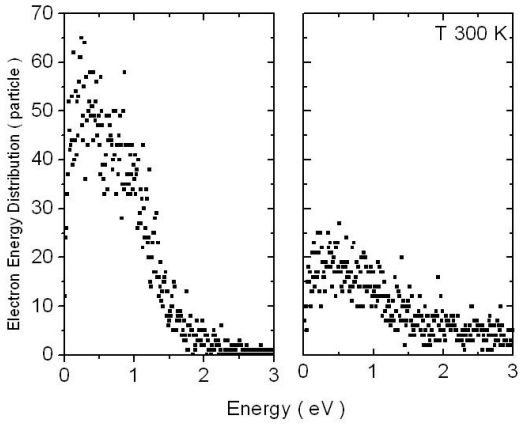
شکل 2: نمودار حالت پایدار تراکم الکترونی در دو دره ی اول بر حسب میدان الکتریکی اعمال در دو دمای 300 و 500 کلوین در نیمرسانای InN.

همانگونه که از شکل 2 مشاهده می شود، الکترون ها در میدان های اعمالی کمتر از میدان آستانه، تماما دره مرکزی را اشغال کرده اند و درصد اشغال دره های بالاتر صفر است و در میدان ها بالاتر از این حد، الکترون ها انرژی لازم را برای پراکنده شدن به دره های بالاتر انرژی بدست می آورند. با افزایش دما در صد اشغال الکترونی در دره مرکزی کاهش می یابد و در نتیجه درصد اشغال الکترونی دره های بالاتر افزایش می یابد. از آنجا که جرم موثر الکترونی در دره های بالاتر انرژی افزایش می یابد، احتمال پراکندگی الکترون ها افزایش می یابد و بنابراین سرعت سوق الکترون ها کاهش می یابد.



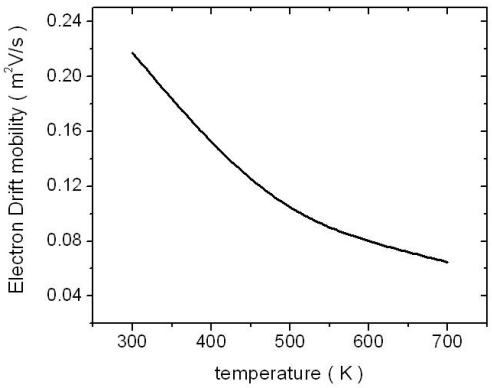
شکل 3: نمودار حالت پایدار بستگی انرژی جنبشی بر حسب میدان الکتریکی اعمال در سه دمای 300 و 400 و 500 کلوین در نیمرسانای InN.

شکل 3 بستگی انرژی جنبشی الکترون ها را به میدان الکتریکی اعمالی نشان می دهد. همانگونه که از این شکل ملاحضه می شود، انرژی جنبشی الکترونی در میدان های الکتریکی بالاتر 50×10^{5} V/m ، با افزایش دما به طور قابل ملاحضه ای کاهش می یابد. این کاهش انرژی ناشی از کاهش سرعت سوق الکترونی در دماهای بالاتر است.



شکل 4: تابع توزیع انرژی جنبشی الکترون ها در دو میدان الکتریکی اعمالی 15×10^{5} V/m و 65×10^{5} V/m در دمای اتاق در نیمرسانای InN.

در شکل 4 توزیع انرژی الکترون ها در دمای اتاق و برای دو میدان الکتریکی 65×10^{5} V/m و 65×10^{5} V/m رسم شده است. چنانچه از این شکل مشاهده می شود با افزایش شدت میدان الکتریکی اعمالی تا میدان الکتریکی آستانه، توریع انرژی الکترون ها از انرژی های پایین تر به سمت انرژی های بالاتر و در نتیجه الکترون ها به اشغال دره های بالاتر انرژی متمایل می شود.



شکل 5: نمودار تحرک پذیری الکترونی بر حسب تغییرات دما در نیمرسانای InN.

در شکل 5 تحرک پذیری الکترونها بر حسب دما رسم شده است. با توجه به شکل، تحرک پذیری الکترونی بر حسب دما به صورت قابل ملاحضه ای کاهش می یابد، که دلیل آن افزایش ارتعاشات شبکه و زیاد شدن برهمکنش الکترونها با فنون ها است.

4- نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی، خواص ترابرد الکترونی در نیمرسانای InN به وسیله مدلی سه دره ای و با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو، درسه دمای متفاوت 300 و 400 و 500 کلوین، مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت سوق در این ماده در دمای اتاق و در حد میدان های بالا پیکی از مرتبه 4.1×10^{5} m/s می زند و در میدان های بالاتر از میدان آستانه، به حد اشباعی از مرتبه 3.2×10^{5} m/s می رسد. بنابراین این ماده دارای خواص الکترونی خوبی است و استفاده از این ماده برای ساخت قطعات الکترونیکی و اپتو الکترونیکی توصیه می شود. همچنین مشخص شد که این ماده به تغییرات دما حساس است و از این رو استفاده از این ماده در ساخت قطعاتی که در دماهای متغییر کار می کنند، توصیه نمی شود.

مراجع

[1] Nakamara, S "The blue Diod-GaN based High emitters and lasers",**Springer, berlin**. 1997
[2] Foutz, B. ,Shur, M., Bhapkar, U. , Eastman, L. ," Electron transport in wurtzite indium nitride" **J. Appl. Phys**. 83, 826, 1998
[3] Martienssen, W., Warlimont, H., "Springer Handbook of Condensed Matter and Materials Data" **Springer,** berlin. 2005
[4] Chattopadyay, D., Queissev, H.J., "Review of Modern Physics", 85, 1999
[5] Foutz, B. , O'Leary , S., Shur, M., Bhapkar, U. , Eastman, L. ," Transient electron transport in wurtzite GaN, InN, And AlN" **J. Appl. Phys**. 83, 826, 1998
[6] Bellotti, E., B.K. Doshi, K.F. Brennan, J.D. Albrecht, P.P. Ruden, "Ensemble Monte Carlo study of electron transport in wurtzite InN" **J. Appl. Phys**. 85 , 1999