بررسی خواص ترابردی الکترونها در نیمرسانای InP در میدانهای الکتریکی ضعیف

عربشاهی، هادی [۱]؛ گل افروز شهری، سپیده [۲]

[1] گروه فیزیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

[2] گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم، سبزوار

چکیده

با استفاده از روش تکرار، بستگی تحرک پذیری الکترونها به دما و چگالی در نیمرسانای InP محاسبه شده است و نتایج با دو نیمرسانای InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ مقایسه شده است. مکانیزمهای پراکندگی از اتم های ناخالصی یونیده، و فونون های اپتیکی قطبی و آکوستیکی و همچنین پیزوالکتریکی در این محاسبات در نظرگرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تحرک پذیری الکترونی بطور یکنواخت همچنانکه دما از ۱۰۰°K به ۶۰۰°K بالا برده می‌شود، کاهش می‌یابد. نتایج بدست آمده برای InP در تطابق خوبی با محاسبات دیگران است.

Electron Mobility in InP Semiconductor in Low Electric Field

Arabshahi, Hadi[1] ;Golafrooz Shahri, Sepideh [2]

[1] *Department of Physics, Ferdowsi University , Mashhad, Iran*

[2] *Department of Physics ,Tarbiat Moallem University , Sabzevar, Iran*

Abstract

Temperature and electron concentration dependencies of electron mobility in InP semiconductor has been calculated using an iterative method. The results have been compared with InAs and $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ *semiconductors. The following scattering mechanisms like impurity, polar optical, acoustic and piezoelectric scattring are included in the calculation. It is found that the electron mobility decrease monotonically as the temperature increase for 100°K to 600°K.The iterative results of InP are in fair agreement with other calculations.*

PACS No.72

مقدمه

در سالهای اخیر نیمرساناهای InP, InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ به دلیل داشتن گاف انرژی مستقیم کاربرد فراوانی در ساخت ابزارهای نوری و الکتریکی و زیر لایه های لازم در حد طول موج های بلند دارند. هر سه ماده در ساختار بلوری زینک بلند رشد یافته اند. هدف این مقاله، بررسی ترابردی الکترونها در بلورهای نیمرسانا با استفاده از حل عددی بولتزمن به روش تکرار می باشد. این کار به طور خاص برای نیمرسانای InP انجام پذیرفته است. در این مطالعه تحرک پذیری الکترونها وقتی که بلور تحت تاثیر میدان الکتریکی ثابت و ضعیف قرار دارد بررسی شده است. سپس با شبیه سازی رفتار الکترون در بلور، بستگی تحرک پذیری الکترونها به دما و چگالی اتم های ناخالصی در نیمرسانای InP مورد مطالعه قرار گرفته و با تحرک پذیری الکترونها در InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ مقایسه شده است.

روش کار پژوهشی

برای محاسبه تحرک پذیری باید معادله ترابردی بولتزمن به شکل زیر را حل کرد:

$$(\frac{e}{\hbar})E.\nabla_k f = \oint [s'f'(1-f) - sf(1-f')]dk \qquad (۱)$$

که در آن f', f به ترتیب تابع توزیع الکترونهای با بردار موج k', k می باشند و E شدت میدان الکتریکی اعمالی است. s', s نیز به ترتیب آهنگ پراکندگی الکترونها به سمت خارج و داخل المان حجم dk است [۱] . مکانیزم های پراکندگی در نظر گرفته شده در این پژوهش پراکندگی کشسان از فونون های آکوستیکی، پراکندگی پیزوالکتریک، پراکندگی از اتمهای ناخالصی یونیده و پراکندگی

ناکشسان از فونون های اپتیکی قطبی است].در حد میدانهای الکتریکی ضعیف تابع توزیع الکترون را می توان به صورت بسط تابع لژاندر تابع توزیع فرمی – دیراک نوشت، به طوری که:

$$f = f_k(k) + \cos\theta \; g(k) \qquad (۲)$$

که در آن $f_k(k)$ تابع توزیع فرمی – دیراک، $g(k)$ تغییر در تابع توزیع الکترونها در اثر عوامل مختلف پراکندگی، یا توزیع اختلالی است و θ زاویه بین بردار موج k و میدان الکتریکی می باشد. با جایگذاری رابطه (۲) در معادله ترابردی بولتزمن و حل آن به روش تکرار (برگشت پذیر) تابع توزیع اختلالی در مرتبه i+۱ ام بر حسب جمله i ام به صورت زیر نوشته می شود [۲]:

$$g_{i+1} = \frac{S_i(g_i') - (eE/\hbar)(\partial f/\partial k)}{S_0 + v_{el}} \qquad (۳)$$

که در آن S_i آهنگ پراکندگی درون‌سو (از انرژیهای بالاتر به پایینتر) ، S_O آهنگ پراکندگی برون‌سو (از انرژیهای پایینتر به بالاتر) و v_{el} آهنگ پراکندگی کشسان کل یا سطح مقطع پراکندگی است .با محاسبه تابع توزیع اختلالی به روش تکرار تحرک پذیری الکترونها از رابطه زیر بدست می آید[۲]:

$$\mu_d = \frac{\hbar}{3m^*} \frac{\int_0^\infty k^3 \frac{g(k)}{Ed} dk}{\int_0^\infty k^2 f_k(k)\, dk} \qquad (٤)$$

که در آن m^* جرم موثر الکترون در دره مرکزی Γ و E میدان الکتریکی است .

حل تحلیلی معادله ترابردی بولتزمن به روشهای متعددی امکان پذیر است . برای حل عددی معادله ترابردی بولتزمن در این تحقیق از روش تکرار استفاده شده است. این برنامه ابتدا آهنگ پراکندگی هر یک از مکانیزمهای پراکندگی را محاسبه می کند و سپس با استفاده از روش تکرار تابع توزیع اختلالی را تعیین می کند. با در اختیار داشتن مقدار $g(k)$ ما می توانیم تحرک پذیری را به کمک رابطه (٤) محاسبه کرده و بستگی آن به عواملی مانند دما و تراکم الکترونها را مورد بررسی قرار دهیم.

پارامترهای الکتریکی و ساختار نواری سه ماده که در محاسبه ترابردی الکترونها در این پژوهش از آنها استفاده شده است در جدول ۱ گردآوری شده است.

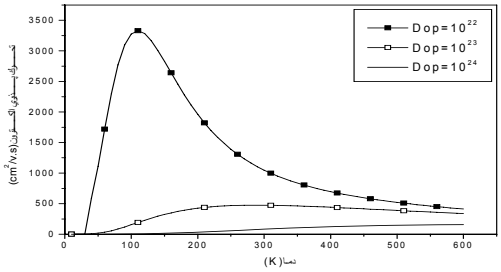
جدول ۱ : مشخصات پارامترهای نواری برای دره مرکزی Γ در ترکیبات نیمرسانای InP، InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ [٤].

ترکیب	گاف انرژی Eg(ev)	جرم موثر الکترون m^*/m_0	ضریب انحراف دره Γ $\alpha(ev)^{-1}$
InP	۱/۳٤	۰/۰۸	۰/٦۳
InAs	۰/۳۵	۰/۰۲۳	۲/۷
$Ga_{0.51}In_{0.49}P$	۱/۸۳	۰/۰۸۸	۰/٤۵

نتایج و بحث

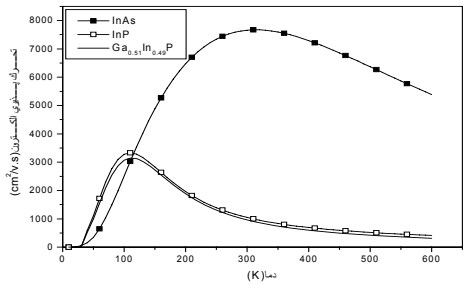
شکل (۱)، نمودار تغییرات تحرک پذیری بر حسب دما برای نیمرسانای InP را به ازای تراکم های الکترونی مختلف نشان میدهد. همان طور که ملاحظه می شود نمونه با تراکم الکترونی کمتر، در تمام دماها دارای تحرک پذیری بیشتری است و با افزایش دما این تحرک پذیری به طور قابل ملاحظه ای کم می شود.

در یک دمای معین، نمونه با تراکم بیشتر دارای تحرک پذیری کوچکتری است. زیرا در این نمونه تعداد مراکز ناخالصی یونیزه بیشتر است و الکترون دفعات بیشتری تحت تأثیر پتانسیل کولنی قرار می گیرد، در نتیجه آهنگ پراکندگی از ناخالصی های یونیزه در این نمونه بالاتر است. می توان نتیجه گرفت پراکندگی از ناخالصی ها یونیزه در نیمرسانای InP تقریباً در تمامی دماها عامل مهمی در کاهش تحرک پذیری است.



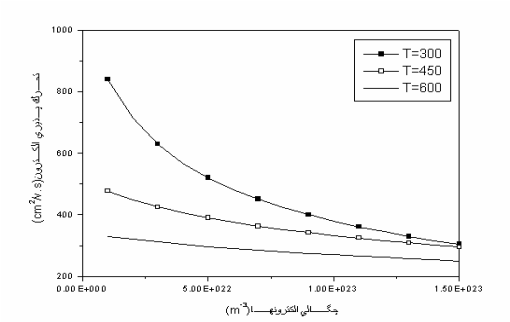
شکل ۱: تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب دما برای نیمرسانای InP به ازای تراکم الکترونی متفاوت.

شکل (۲)، تغییرات تحرک پذیری الکترون بر حسب دما برای سه نیمرسانای Inp، InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ را نشان می دهد. در این محاسبه چگالی الکترونها درهر سه نیمرسانا $۱۰^{۲۲}\ m^{-۳}$ در نظر گرفته شده است. چنانکه ملاحظه می شود تحرک پذیری الکترونها در دمای ۳۰۰ کلوین برای سه نیمرسانای $Ga_{0.51}In_{0.49}P$, InP InAs, به ترتیب حدود $۷۶۵۹\,cm^2V^{-1}s^{-1}$، $۱۰۴۸\,cm^2V^{-1}s^{-1}$ و $۹۵۹\,cm^2V^{-1}s^{-1}$ می باشد. همانطور که مشاهده می شود تحرک پذیری الکترونها در InAs در تمامی دماها، به علت جرم موثر کمتر الکترون در این ماده، بیشتر از تحرک پذیری الکترونها در دو نیمرسانای دیگر است. با افزایش دما تحرک پذیری در هر سه نیمرسانا افزایش می‌یابد سپس بعد از رسیدن به یک مقدار ماکزیمم بطور مثال در موردInAs ؛ $۷۶۷۲\ cm^2V^{-1}s^{-1}$در دمای $۳۱۰\ ^oK$ و در مورد $Ga_{0.51}\ In_{0.49}P$؛ $۳۱۴۷\,cm^2V^{-1}s^{-1}$ در دمای۱۱۰^oK) در اثر افزایش آهنگ پراکندگی از فونون های اپتیکی، تحرک پذیری الکترون کاهش می یابد.



شکل ۲:تغییرات تحرک پذیری الکترون بر حسب دما برای سه نیمرسانای InP ، InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$.

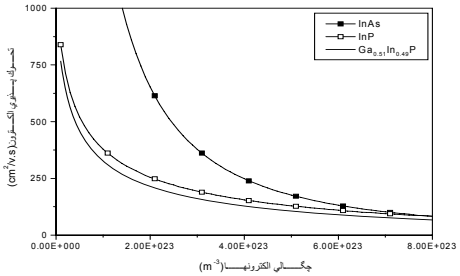
شکل (۳)،تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب تراکم الکترونی را در دماهای مختلف نشان می دهد. چنانکه ملاحظه می شود با افزایش دما از ۳۰۰^oK به ۶۰۰^oK تحرک پذیری الکترونها به سرعت به ازای کلیه چگالی الکترونی متفاوت، کاهش می یابد. دلیل کاهش تحرک پذیری الکترونی در دماهای بالا این است که با افزایش دما، آهنگ پراکندگی از فونون های آکوستیکی و اپتیکی افزایش می یابد. زیرا افزایش دما، باعث افزایش ارتعاشات شبکه شده و بنابراین انرژی فونون های اپتیکی و آکوستیکی افزایش می یابد. چنین افزایشی در انرژی فونون ها، باعث برهم کنش قوی بین الکترون ها و این فونون ها شده که نتیجه آن افزایش آهنگ پراکندگی الکترون ها و نهایتا کاهش تحرک پذیری است. در دماهای پایین، پراکندگی از پتانسیل تغییر شکل شبکه تنها اندکی باعث کاهش تحرک پذیری می شود و مهمترین عامل محدود کننده تحرک پذیری الکترونی، پراکندگی از ناخالصی های یونیزه است. با کاهش دما، انرژی جنبشی الکترونها نیز کاهش می یابد، در نتیجه الکترونها مدت زمان بیشتری، پتانسیل کولنی یونها را احساس کرده و آهنگ پراکندگی آنهااز مراکز ناخالصی یونیزه افزایش می یابد.



شکل۳: تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب چگالی الکترونها در دماهای مختلف برای نیمرسانای InP.

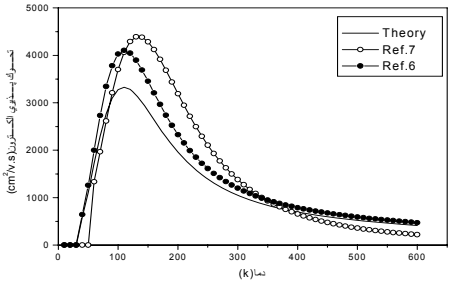
شکل (٤)، نمودار تغییرات تحرک پذیری الکترون ها برحسب تراکم الکترونی در سه نیمرسانای $Ga_{0.51}In_{0.49}P$,InAs,InP را در دمای ۳۰۰^oK نشان می دهد. چنانکه ملاحظه می شود با افزایش چگالی الکترون ها در هر ماده، تحرک پذیری الکترون ها کاهش می یابد. زیرا افزایش الکترون ها، سبب افزایش مراکز ناخالصی های

یونیزه در بلور می گردد که باعث می شود الکترون دفعات بیشتری تحت تاثیر پتانسیل کولنی این مراکز ناخالصی قرار گرفته و آهنگ پراکندگی الکترون افزایش یابد. اما به هرحال تفاوت در اندازه تحرک پذیری این سه نیمرسانا، ناشی از تفاوت در پارامترهای الکتریکی و به خصوص جرم موثر در دره Γ است.



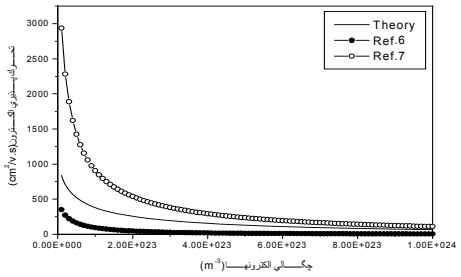
شکل٤: تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب تابعی از چگالی الکترونها برای سه نیمرسانای $Ga_{0.51}In_{0.49}P$,InAs,InP .

شکل (۵)، نمودار تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب دما برای نیمرسانای InP را در مقایسه با نتایج دیگر نشان می دهد. ملاحظه می شود در دمای بین $۳۰۰^{o}K$ تا $۶۰۰^{o}K$ محاسبات ما توافق خوبی با دیگر نتایج دارد. به طوری که تحرک پذیری الکترون در دمای $۳۰۰^{o}K$ برای InP، نتایج [٦] و نتایج[٧] به ترتیب حدود $۱۰۴۸\,cm^2V^{-1}s^{-1}$، $۱۱۹۹\,cm^2V^{-1}s^{-1}$ و $cm^2V^{-1}s^{-1}$ ۱۳۷۹ میباشد.



شکل۵: تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب دما برای نیمرسانای InP که با کارهای انجام شده دیگر مقایسه شده است[٦،٧].

شکل (٦)، نمودار تغییرات تحرک پذیری الکترون برحسب چگالی الکترونها برای نیمرسانای InP را در مقایسه با نتایج دیگر نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود به ازای تراکم $۱۰^{۲۳}m^{-۳}$ تا $۱۰^{۲٤}m^{-۳}$ محاسبات ما توافق خوبی با دیگر نتایج دارد.



شکل٦: تغییرات تحرک پذیری الکترون بر حسب چگالی الکترونها برای نیمرسانای InP در دمای ۳۰۰ k که با کارهای انجام شده دیگر مقایسه شده است[٦،٧].

نتیجه گیری

با حل معادله بولتزمن به روش تکرار و در نظر گرفتن اثر پراکندگی الکترون ها از عوامل فونونی، پیزو الکتریسیته و حضور اتم های ناخالصی، تحرک پذیری الکترون ها در نیمرسانای InP به صورت توابعی از دما و چگالی اتم های ناخالصی محاسبه نموده و آن را با ترکیبات نیمرساناهای InAs و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ و با نتایج دیگر کارهای انجام شده مقایسه گردیده است. محاسبات نشان می دهد که به علت جرم موثر الکترونی کمتر در InAs، تحرک پذیری الکترون ها در حضور میدان های الکتریکی ضعیف در این ماده نسبت بهInP و $Ga_{0.51}In_{0.49}P$، بیشتر می باشد. همچنین در دماهای بالا پراکندگی غالب ناشی از فونون های اپتیکی قطبی شبکه وفونونهای آکوستیکی است در حالی که در دماهای پائین پراکندگی محدود کننده تحرک پذیری الکترونها، پراکندگی از ناخالصی یونیده است.

مرجع ها

[1] D.L. Rode, *Semiconductors and Semimtals*, eds. R.K. Willasrdson and A.C.Beer, Academic press, New York, (1975), Vol. 10, chap.1
[2] D.L.Rode; *phys. Rev. B* **8**,3287(1971) .
[3] Subhabrata Dhare and Subhasis Ghosh; *J. Appl. Phys.* **86**, 2668(1999) .
[4] www. ioffe. rssi. ru/SVA/NSM/Semicond/
[5]H.Arabshahi and M.R.khalvati, *Modern Physics B*, **12,** 767, (2008)
[6]G.M.Dunnt, Alison. B.Walkert , J.H.Jeffersont and D. C. Herbert, " *Monte carlo Simulation of InP and GoAs Mesfets* " (1994) .