سومین همایش علمی- تخصصی فیزیک دانشگاه پیام نور

دانشگاه پیام نور استان خوزستان - 23 الی 25 آذر 1387

محاسبه عددي تحرك پذيري الكترونها در نيمرساناي تركيبي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ در ميدان هاي الكتريكي ضعيف

بهروز سروري[1] ، هادي عربشاهي[2] ، عليرضا بينش[3]

[1]دانشگاه پيام نور مشهد
[2]دانشگاه فردوسي مشهد
[3]دانشگاه پيام نور فريمان
vohrouch1980@gmail.com

چكيده- در اين پژوهش، تحرك پذيري الكترونها براي نيمرساناي تركيبي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ با استفاده از روش تكرار در بازهٔ دمايي 20 K تا 600 K در حد ميدانهاي پايين محاسبه شده است. با در نظر گرفتن مكانيسم هاي پراكندگي اپتيكي قطبي، پراكندگي ناخالصي يونيده شده و پراكندگي فونون هاي اكوستيكي (پتانسيل تغيير شكل يافته و پيزوالكتريك)، معادله ترابري بولتزمن را با استفاده از روش تكرار حل مي كنيم. در محاسبه تحرك پذيري، ساختار نوار رسانش نيمرساناي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ را بصورت غيرسهموي در نظر مي گيريم. در مجموع، تركيب توابع موج و استتار الكترون را مورد توجه قرار داده و در نهايت يك بستگي دمايي، براي تحرك پذيري نيمرساناي مورد نظر بدست مي آوريم.

كليد واژه- $Ga_{0.52}In_{0.48}P$، تحرك پذيري الكترون، روش تكرار، فونونهاي اپتيكي قطبي، پتانسيل تغيير شكل يافته.

Numerical Calculation of Electron Mobility in $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ Semiconductor at Low Electric Field Application

B. Sarvari[1], H. Arabshahi[2], A. Binesh[3]

[1]Payam Nour university of mashhad
[2]Ferdowsi university of mashhad
[3]Payam Nour university of Fariman

Abstract - In this work, the electron mobility of $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ semiconductor compound is calculated using iterative method in range of 20K-600K. We primarily considered polar optic phonon scattering, impurity scattering, polar acoustic phonon scattering (piezoelectric scattering) and non-polar acoustic phonon scattering (deformation-potential scattering) mechanisms. Boltzman transport equation is solved using iterative method. The conduction-band structure of $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ has taken to be non-parabolic. In addition, we took into account the mixing of wave functions and electron screening, and we investigated temperature dependence of mobility for the given compound.

Keywords: $Ga_{0.52}In_{0.48}P$, electron mobility, iterative method, polar optic phonons, deformation-potential scattering.

1. مقدمه

در سالهاي اخير، دانشمندان دربارهٔ مطالعه و استفاده نيمرساناهاي تركيبي جلوه هاي جالب و مهمي را ارائه داده اند. يكي از محدوديت ها در فن آوري پيوند غير همگن ادوات الكترونيكي، نبود زير لايه مناسب با تطبيق شبكه است، كه باعث پيدايش و توليد نقايص بلوري مي شود. نيمرساناي تركيبي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ كه ثابت شبكه ، آن با GaAs تطبيق مي كند براي توسعه چشمه ها و آشكار سازهاي محدودهٔ مرئي طيف اهميت دارد. ساختار غير همگن $GaAs-Ga_{0.52}In_{0.48}P$ با تطبيق ثابت شبكه (عدم تطبيق شبكه= 0/02 %) براي قطعات دوقطبي مهم بوده و ممكن است براي ترانزيستورهاي نوري نيز حائز اهميت باشد. همچنين اين ساختار غير همگن داراي چگالي نقايص بلوري و جابجاشدگي اندك در صفحه واسط بوده و بنابراين بطور وسيع در موجبرها و قطعات الكترونيك نوري فعال مورد استفاده در محدودهٔ مادون قرمز نزديك طيف، استفاده مي شوند [1].

خواص ترابري الكترون ها در نيمرساناهاي با گاف انرژي مستقيم را مي توان به راحتي با حل مستقيم معادله بولتزمن بدست آورد. موضوع اين تحقيق تعيين پارامترهاي الكتريكي نظير تحرك پذيري الكترونها در مادهٔ نيمرساناي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ بر حسب تابعي از دما و چگالي الكترونها در ميدانهاي الكتريكي پايين است. اين اندازه گيري با حل معادله بولتزمن به روش تكرار و طراحي يك برنامهٔ كامپيوتري بدست مي آيد.

2.

معادله براي تابع توزيع الكترونها f ، معادله ترابري بولتزمن ناميده مي شود

(1)

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \boldsymbol{V}\cdot\boldsymbol{\nabla}_r f + \dot{\boldsymbol{k}}\cdot\boldsymbol{\nabla}_k f = \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{coll}$$

(1) هر فرآيند پراكندگي الكترون، بوسيلهٔ زمان واهلش $\tau(E)$ كه E انرژي الكترون است، توصيف مي شود، (2) براي هر فرآيند پراكندگي، يك زمان واهلش ميانگين $\langle\tau_j\rangle$، $\langle\tau\rangle = \frac{4}{3\sqrt{\pi}}\int_0^\infty \tau(E)E^2 exp\left(-\frac{E}{K_BT}\right)\frac{dE}{\sqrt{(K_BT)^3}}$ [2].

(2)

سپس تحرك پذيري ميدان پايين بصورت زير تعريف مي شود

$$\mu_j = q\langle\tau_j\rangle/m^* \qquad (3)$$

كه q بار الكتريكي و m^* جرم مؤثر الكترون در باند Γ مي باشد. بعنوان يك تقريب، مكانيسم هاي مختلف پراكندگي بصورت مستقل از يكديگر در نظر گرفته مي شوند.

آنگاه تحرك از قانون ماتيسين بدست $\mu_{tot}^{-1} = \sum_j \mu_j^{-1}$

(4)

اگرچه اين فرضها بطور سختگيرانه يك روش دقيقي نيست، اما محاسبات بر اساس اين فرضها نشان مي دهد كه يك توافق بسيار خوبي با داده هاي تجربي دارد.

در مورد پراكندگي غير الاستيك (مانند پراكندگي از فونونهاي اپتيكي) از تقريب زمان واهلش ديگر نمي توانيم استفاده كنيم، زيرا تصحيح تابع توزيع نه تنها به انرژي الكترون قبل از پراكندگي بلكه به انرژي حالت نهايي نيز بستگي دارد. در اينحالت معادله بولتزمن را بايد از تكنيك هاي عددي مانند روش تكرار حل كرد [3].

در دنبالهٔ بحث، مكانيسمهاي مختلف پراكندگي را مورد بررسي قرار مي دهيم.

3.

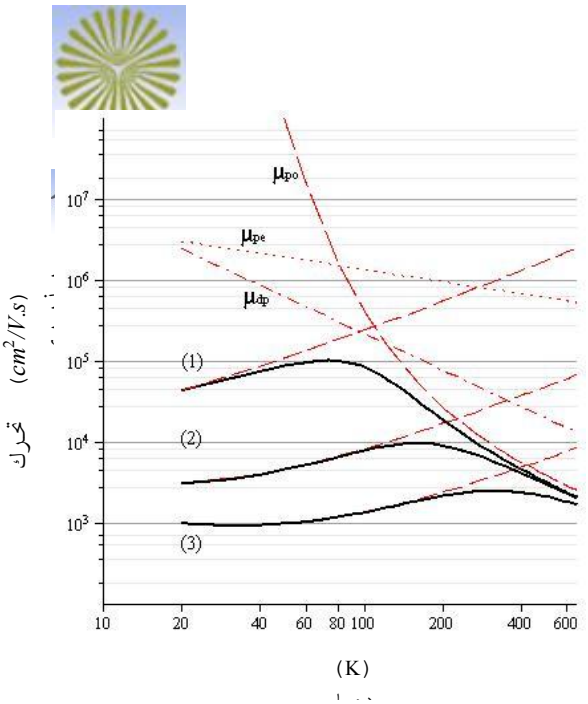
در اين پروژه، ساختار زينك-بلند نيمرساناي تركيبي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ و چهار فرآيند پراكندگي اصلي فونونهاي اپتيكي قطبي، ناخالصيهاي

جدول (1)

پارامتر	$Ga_{0.52}In_{0.48}P$
چگالی ρ (gr/cm^3)	۴/۴۶
جرم مؤثر الکترون در دره Γ m^*	۰/۰۹m_e
ثابت دی الکتریک فرکانس پایین ε_o	۱۱/۸
ثابت دی الکتریک فرکانس بالا ε_∞	۹/۳۵
ثابت شبکه a (A^o)	۵/۶۵
سرعت صوت u (cm/s)	۵/۴۹ × ۱۰^5
ثابت الکترومکانیکی K	−۰/۰۲۸
پتانسیل تغییر شکل یافته اکوستیکی E_1 (eV)	−۹/۲
دمای دبای فونونهای اپتیکی قطبی T_{po} (K)	۵۳۸

در شکل (1) تغییرات تحرک پذیری کل و نسبت مشارکت تحرک پذیری محدود شده بوسیلهٔ مکانیسمهای مختلف پراکندگی الکترون بطور مجزا برای هر کدام بر حسب تابعی از دما نشان داده شده است. همچنین در شکل (1) نمودار تحرک پذیری الکترون در سه غلظت الکترونی مختلف محاسبه شده است. همانطور که از شکل پیداست پراکندگی بوسیلهٔ فونون های اپتیکی قطبی و ناخالصی یونیده شده فرآیندهای غالب هستند. برای چگالی اتمهای ناخالصی کمتر از (cm^{-3}) 5×10^{17}، آشکارا پراکندگی بوسیلهٔ ناخالصیهای یونیده شده، فرآیند محدود کنندهٔ تحرک پذیری در دمای اتاق نیست. زیرا همچنان که از شکل پیداست، تحرک پذیری کل برای الکترون در دمای 300K بترتیب برای غلظتهای (1)، (2) و (3) برابر است با $7990cm^2/V.s$، $5870cm^2/V.s$ و $2300cm^2/V.s$، در حالیکه تحرک پذیری ناخالصی بترتیب برای این غلظت ها برابر است با $8/5\times10^5cm^2/V.s$، $2\times10^4cm^2/V.s$ و $2820cm^2/V.s$.

چنانچه از شکل (1) مشاهده می شود، با افزایش دما، تحرک پذیری افزایش می یابد و در دمای معینی به مقدار بیشینهٔ خود می رسد. این مقدار بیشینه برای غلظتهای

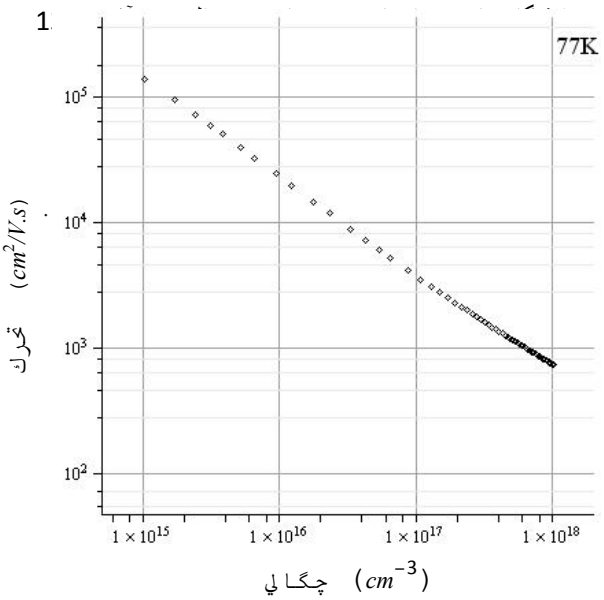


شکل (1). نمودار تحرک پذیری برای $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ بر حسب تابعی از دما برای غلظت های الکترونی مختلف. (1) $10^{15}cm^{-3}$ (2) $5\times10^{16}cm^{-3}$ (3) $5\times10^{17}cm^{-3}$

سپس تحرک پذیری کاهش پیدا می کند. دلیل کاهش تحرک پذیری شروع پراکندگی از ارتعاشات شبکه است که پراکندگی از فونونهای اپتیکی قطبی و پتانسیل تغییر شکل یافته مهم می شوند، اما با اینحال فرآیند غالب در دماهای بالا پراکندگی از فونونهای اپتیکی قطبی می باشد. در نیمرسانای ترکیبی $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ با آلایش کم یا تقریبا کم در دماهای بالا (بالاخص در دمای اتاق) همانطور که از شکل پیداست، پراکندگی اپتیکی قطبی، مکانیسم غالب است. تحرک پذیری پیزوالکتریک چندان نقشی در محدود کردن تحرک پذیری کل ندارد و این بعلت تقارن نسبتاً خوب، بالاخص در ساختار زینک- بلند است.

در شکل های (2) و (3) تغییرات تحرک پذیری کل بر حسب چگالی الکترونها (=چگالی اتمهای ناخالصی) برای دماهای 77K و 300K نشان داده شده است. همانطور که می بینیم، داده ها در این دو نمودار در توافق کامل با نمودار شکل (1) هستند.

همانطور که از شکلهای (2) و (3) مشاهده می شود، با افزایش چگالی الکترونها، تحرک پذیری کاهش پیدا می کند. نکته مهم در اینجا

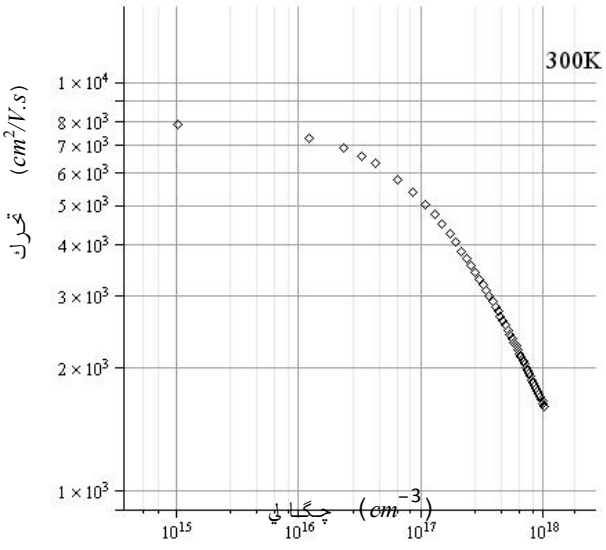


شكل (3). تغييرات تحرك پذيري كل بر حسب چگالي الكترونها براي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ در دماي 77K

4.

از بحث هاي بالا به اين نكته مهم مي رسيم كه پراكندگي بوسيله فونون هاي اپتيكي قطبي و ناخالصي يونيده شده دو

فرآيند غالب در تحرك پذيري براي نيمرساناي تركيبي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ مي باشند. پراكندگي ناخالصي يونيده شده در دماهاي پايين و پراكندگي فونون هاي اپتيكي قطبي در دماهاي بالا نقش مهمي را بازي مي كنند. تعيين دماي مرزي براي اين دو پراكندگي، همانطور كه ديديم بستگي به غلظت اتمهاي ناخالصي دارد.



شكل (2). تغييرات تحرك پذيري كل بر حسب چگالي الكترونها براي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ در دماي 300K

براي نيمرساناي تركيبي $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ در دماي اتاق همانطوركه ديديم اين غلظت برابر با $5\times10^{17}\ cm^{-3}$ است. و تحرك پذيري كل براي غلظتهاي بيشتر از اين عدد چندان با دما تغيير نمي كند، اين موضوع در شكلهاي (1)، (2) و (3) كاملا مشخص است. تمام داده ها در شكلهاي فوق با مقادير تجربي سازگاري كامل را دارند.

همانطور كه در شكل (1) ديده شد نقش پراكندگي پتانسيل تغيير شكل يافته براي دماهاي بالا مهم است، و مقدار اين نقش را مي توان از داده ها تخمين زد. در نيمرساناي مورد بررسي (با ساختار زينك-بلند) پراكندگي پيزوالكتريك چندان مهم نيست.

مراجع

[1] A F Qarasi and N M Gasanly, Crystal Res. Tech. **36**, 457 (2001)

[2] J Bardeen and W Shockley, *phys. Rev*. **77**, 407 (1950)

[3] J D Zook, *phys. Rev*. **136**, A869 (1964)