

شبیه سازی انتقال الکترون در دیود $InAs\ n^+nn^+$ با ابعاد زیر میکرون

به روش مونت کارلو

خلوتی، محمد رضا^۱، عربشاهی، هادی^۲، رحیم پور سلیمانی، حمید^۳، مخلص گرامی، عادل^۳، ایزدی فرد، مرتضی^۱

^۱ دانشکده فیزیک دانشگاه شاهرود

^۲ گروه فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان

چکیده

در این مقاله خواص ترابرد الکترونها در دیود $InAs\ n^+nn^+$ با استفاده از روش آنسامبلی مونت کارلو محاسبه شده است. مطالعات ما نشان می دهد که سرعت سوق الکترونها در دیود $InAs$ نسبت به دیودهای شناخته شده $GaAs$ بالاتر است. همچنین سرعت سوق در دیود $InAs$ به تغییرات دما زیاد حساس نیست. از این رو انتظار می رود که این دیود قابلیت بالایی در ساخت قطعات اپتیکی از خود نشان دهند.

مقدمه

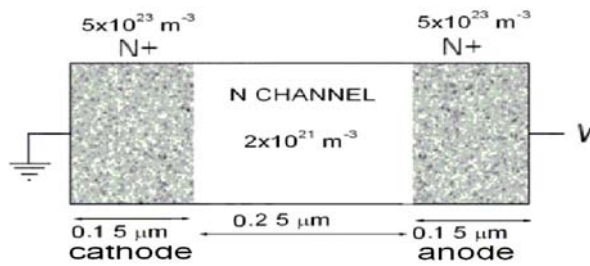
در سال های اخیر نیم رسانای $InAs$ به دلیل داشتن گاف انرژی مستقیم، کاربرد فراوانی در ساخت قطعات اپتوالکترونیکی و زیر لایه های لازم در حد طول موج های بلند داشته اند [۱]. مطالعات ساختار نواری نشان می دهد که در نوار اول انرژی این ماده، پایین ترین دره ها در موقعیت های Γ و L قرار دارند و این ماده دارای ساختار مکعبی روی سولفید بوده و دارای گاف نواری مستقیم برابر با 0.35 الکترون ولت است [۲]. امروزه، اکثر قطعات اپتوالکترونیکی در ابعاد کوچک تر از میکرون، ساخته می شوند. بنابراین خواص ترابرد الکترونها در این قطعات به خاطر میدان الکتریکی شدید و غیریکنواختی که در طول این قطعات تولید می شود، بسیار متفاوت با آن چیزی است که در یک حجم نیم رسانا و یا قطعاتی با ابعاد بزرگتر از میکرومتر مشاهده می شود. بنابراین امروزه بر روی قطعات الکترونیکی زیر میکرون از جمله دیود های n^+nn^+ که به دیودهای بالستیک مشهور اند، تحقیقات گسترده ای صورت می گیرد [۳]. در این پژوهش، نتایج شبیه سازی مونت کارلو از خواص ترابرد الکترونها در دیود زیر میکرون $InAs\ n^+nn^+$ در دماهای 200 و 300 کلوین بررسی شده است و مشخصات ترابرد الکترونی در این دیود با دیود $GaAs\ n^+nn^+$ مقایسه گردیده است.

روش شبیه سازی

مدلی دو دره ای به منظور بررسی مشخصه ترابرد الکترونها در دیود های بالستیک به فرم n^+nn^+ در یک بعد، به کار برده شده است. در ساخت این مدل از تکنیک شبیه سازی آنسامبلی مونت کارلو استفاده شده است و اثرات غیر سهموی بودن نوارهای انرژی در نظر گرفته شده است. تعداد ذرات به کار برده شده در این شبیه سازی، از مرتبه 10^6 ذره می باشد. الکترونها در این قطعات تحت اثر پراکندگی از فونون های اپتیکی قطبی، فونون های آکوستیکی، فونون های بین دره ای و پراکندگی ناشی از پراکندگی ناخالصی های یونیزه قرار می گیرند [۴].

پراکندگی کشسان ناخالصی های یونیزه نیز توسط پتانسیل پوششی کولمب از نوع Brooks – Herring در نظر گرفته شده اند [۵]. نتایج روش مونت کارلو با نتایج سایر روش های شبیه سازی خواص ترابرد الکترونها در قطعات نیمرسانا و نتایج تجربی در توافق بسیار خوبی است [۶].

در شکل ۱ ساختار قطعه n^+nn^+ رسم شده است. همانگونه که از این شکل ملاحظه می شود، ناحیه میانی (N CHANNEL) در بین دو ناحیه آند و کاتد با غلظت ناخالصی های بسیار بالاتر قرار داده شده است. اختلاف پتانسیل ۰/۵ ولت به دو سر قطعه اعمال شده است. پارامترهای مهم که در شبیه سازی بکار برده شده اند در جداول ۱ و ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار قطعه n^+nn^+

جدول ۱: پارامترهای فیزیکی مواد

مواد	InAS	GaAs
چگالی kgm^{-3}	۵۶۶۷	۵۳۷۰
ثابت دی الکترونیک در فرکانس های بالا χ	۱۲/۲۵	۸/۷
ثابت دی الکترونیک در فرکانس های پایین χ	۱۴/۶	۱۲/۵
انرژی فونون های اپتیکی meV	۱۱/۲	۳۲/۲
پتانسیل تغییر شکل آکوستیکی eV	۴/۹	۸/۸
سرعت صوت ms^{-1}	۴۲۸۰	۵۵۰۰

جدول ۲: پارامترهای نواری ماده InAs

نام دره	Γ	L
تعداد دره ها	۱	۴
جرم موثر الکترونی m^*/m_0	۰/۰۲۷	۰/۲۸۶
گاف انرژی eV	۰/۳۵۶	۰/۷۳

جدول ۳: پارامترهای نواری ماده GaAs

نام دره	Γ	L
تعداد دره ها	۱	۴
جرم موثر الکترونی m^*/m_0	۰/۰۶۳	۰/۲۲
گاف انرژی eV	۱/۴۲	۰/۳۳

نتایج شبیه سازی

در شکل ۲ (a) نمودار پتانسیل بدست آمده از حل معادله پواسون در طول قطعه در بازه زمانی 2×10^{-12} s برای دیود های ساخته شده از GaAs و InAs رسم شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود ولتاژ اعمالی در دو ناحیه کاتد و آند مقدار ثابتی است و به ترتیب برابر ۰ و ۰/۵ ولت می باشد و در طول ناحیه میانی پتانسیل به طور پیوسته ای بین این دو مقدار تغییر می نماید. دلیل این تغییرات را می توان با توجه به نمودار شکل ۲ (b) تفسیر نمود. در شکل ۲ (b) نمودار چگالی الکترونها در طول دو دیود رسم شده است. از آنجایی که مقدار بدست آمده برای چگالی الکترون ها در دو ناحیه کاتد و آند برابر مقدار چگالی ناخالصی های آلاینده شده در این دو ناحیه می باشد، چگالی بار

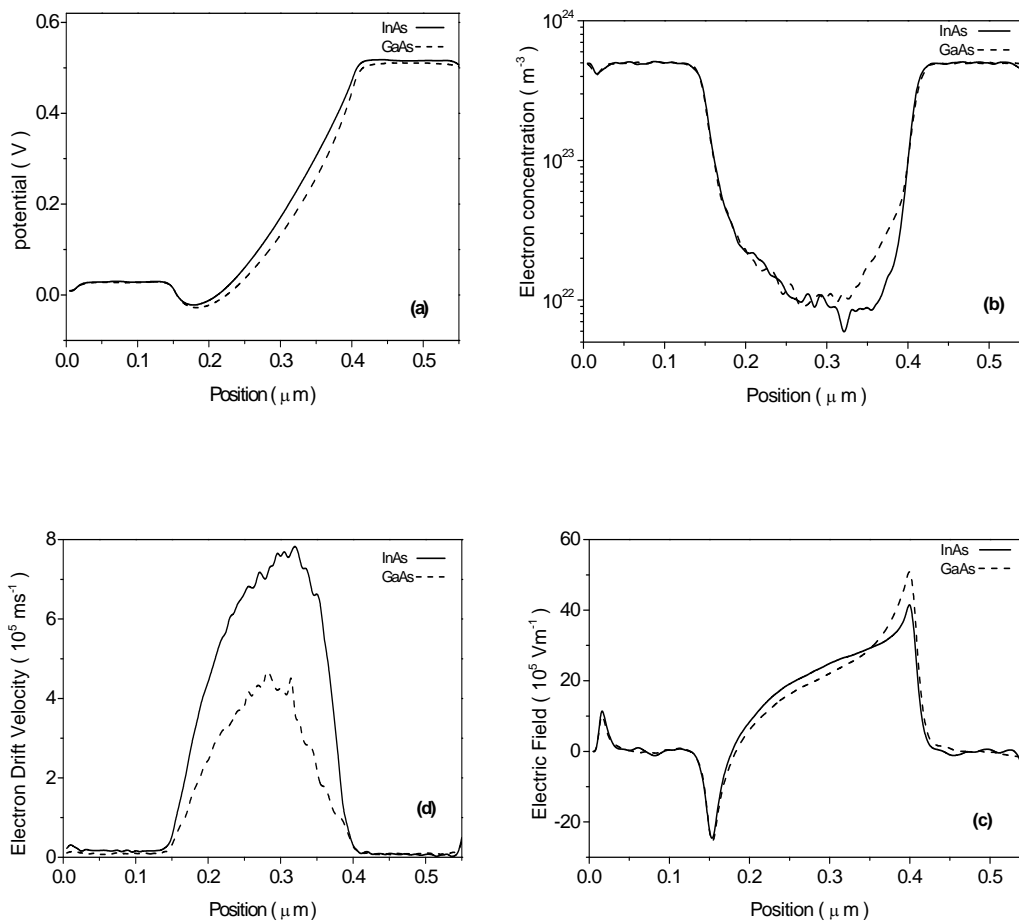
خالص حاملها $(n(x) - Nd(x))$ در طول این دو ناحیه صفر است، بنابر معادله (۱) (معادله پواسون) در این دو ناحیه پتانسیل ثابت می ماند.

$$\nabla^2 \Phi = -e / \epsilon_0 (n(x) - N_d(x))$$

$$\nabla^2 \Phi = 0 \Rightarrow \Phi = Const. \quad (1)$$

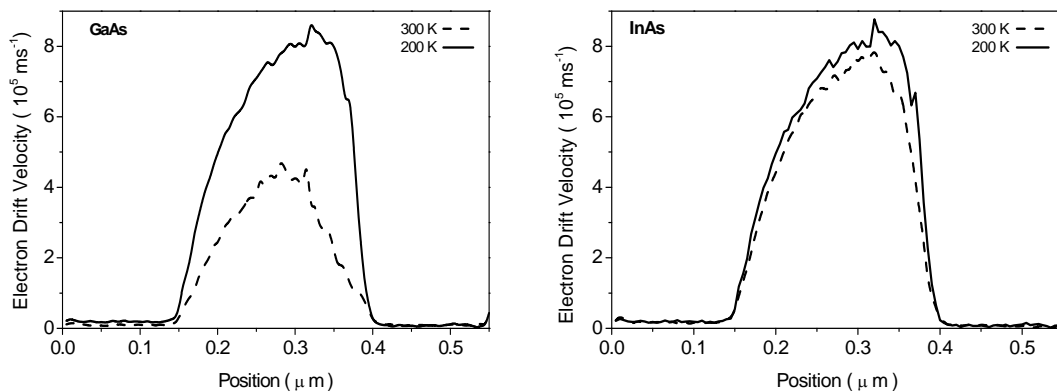
$$E = -\nabla \Phi$$

شکل ۲ (c) میدان الکتریکی را در طول دو دیود نشان می دهد. همانگونه که در این شکل ملاحظه می شود میدان الکتریکی از کاتد به آند منتشر می شود. این میدان به این گونه منتشر می شود که با نزدیکتر شدن به ناحیه آند مقادیر میدان الکتریکی شدیداً افزایش می یابد. بیشینه میدان ایجاد شده در دیودهای InAs و GaAs به ترتیب مقادیری از مرتبه $40 \times 10^5 \text{ Vm}^{-1}$ و $45 \times 10^5 \text{ Vm}^{-1}$ می باشد.



شکل ۲: (a) نمودار پتانسیل نسبت به طول قطعه، (b) نمودار چگالی الکترون نسبت به طول قطعه، (c) نمودار میدان الکتریکی در طول قطعه، (d) نمودار سرعت سوق متوسط الکترون ها را در طول قطعه برای دیودهای ساخته شده از InAs و GaAs

شکل ۲(d) نمودار سرعت سوق الکترون ها را در طول قطعه برای هر دو دیود و در دمای اتاق نشان می دهد. با توجه به شکل مشخص می شود که سرعت سوق حامل ها در قطعه ساخته شده با InAs بسیار بیشتر از GaAs است. دلیل این کاهش زیاد سرعت در دیود GaAs نسبت به InAs را می توان با توجه به بیشتر بودن نرخ پراکندگی کل در نیم رسانای GaAs و در نتیجه بیشتر شدن عوامل کاهنده سرعت توجیه نمود. در شکل ۳ اثر دما بر روی سرعت سوق متوسط الکترون ها در طول دیود های GaAs و InAs نشان داده شده است. کاهش سرعت الکترونها با افزایش دما، از طریق افزایش پراکندگی الکترونها توسط فونون ها قطبی اپتیکی توجیه می شود.



شکل ۳ نمودار سرعت سوق متوسط الکترون ها نسبت به طول قطعه برای دیودهای GaAs و InAs در دماهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کلوین

نتیجه گیری

محاسبات شبیه سازی آنسامبلی مونت کارلو نشان دهنده این نکته است میدان الکتریکی بسیار بالایی در ناحیه میانی در طول این دو دیود ایجاد می شود و بنابراین الکترونها تحت اثر این میدان، سرعت بسیار بالایی می گیرند. دیود بالستیک InAs نسبت به دیود GaAs دارای بهره بهتری هستند. همچنین خواص ترابرد در دیود های ساخته شده از InAs نسبت به تغییرات دمای محیط کمتر حساس است و از این رو استفاده از این ماده در ساخت وسایل الکترونیکی بسیار توصیه می شود.

مرجع ها

1. H. Arabshahi, M. R. Khalvati and M. Rezaee rokn-abadi, Modern Physics Letters B, Vol. 22, No. 17 (2008) 1695-1702
2. W.Martienssen and H.Warlimont (Eds.), "Springer hand book of condensed Matter and Materials Data", Springer, 2005.
3. X. M. Weng and H. L. Cui, J. Appl. Phys., Vol. 83, No. 6, 15 March 1998
4. Tomizawa.Kazutaka, "Numerical Simulation of Submicron Semiconductor Devices", London: Artech House 1993
5. Chattopadyay, D., Quesisev, H.J., Review of Modern Physics, 85, 1999
6. E Starikovy, P Shiktorovy, V Gru'zinskisy, T Gonz'alez, M J Mart'inz, D Pardo, L Reggianix and L Varani, Semicond. Sci. Technol. 11 (1996) 865-872. Printed in the UK