



چهاردهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران

دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ۹ تا ۱۱ بهمن ماه ۱۳۸۶

14th Conference on Optics and Photonics

Rafsanjan Vali-e-Asr University, 29-31 January 2008



بررسی خواص ترابرد الکترونها در نیمرساناهای GaAs و InP برای طراحی قطعات اپتوالکترونیکی در حد طول موج های بلند

خلوتی، محمدرضا*؛ عربشاهی، هادی

گروه فیزیک دانشگاه تربیت معلم سبزوار

چکیده

با استفاده از شبیه سازی مونتو کارلو، مدلی سه دره ای برای مقایسه خواص ترابرد الکترونها در دو نیمرسانای GaAs و InP در حضور میدان های شدید مورد استفاده قرار گرفته است. عوامل مختلف پراکندگی الکترونها از فونون ها و اتم های ناخالصی در این شبیه سازی در نظر گرفته شده است. مشخصه های ترابرد الکترونها در دو ماده نشان می دهد که سرعت سوق الکترونها در InP بیشتر از GaAs بوده و در میدان الکتریکی بزرگتری رخ می دهد. اشباع سریع سرعت سوق در InP کاربردهای اپتوالکترونیکی این ماده را پیشنهاد می کند. این محاسبات در توافق خوبی با اندازه گیری های تجربی است.

مقدمه:

به دره های انرژی کروی شکل منتقل نماید. معادلات میدان الکتریکی به طور خود سازگار با استفاده از روش اختلاف معین حل شده است و در طی هر برخورد زمانی شبه ذرات، پتانسیل شبکه ای در ماده نیمرسانا محاسبه گردیده است. در این شبیه سازی پراکندگی الکترونها توسط عوامل ناخالصی یونیزه شده و فونون های نوری و صوتی درون دره ای و بین دره ای در نظر گرفته شده است [۱-۴]. پارامتر های الکتریکی و ساختار نواری دو ماده که در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند در جدول ۱ تا ۳ گردآوری شده است.

در سال های اخیر نیمرسانا های InP و GaAs به دلیل داشتن گاف انرژی مستقیم کاربرد فراوانی در ساخت قطعات اپتوالکترونیکی و زیر لایه های لازم در حد طول موج های بلند دارند. هر دو ماده در ساختار بلوری زینک بلند رشد یافته و مطالعات ساختار نواری در این مواد نشان می دهد که در اولین نوار انرژی، پایین ترین دره ها در موقعیت های Γ و X و L قرار می گیرند. این دره های انرژی غیر سهموی بوده و لذا لازم است که در محاسبات خواص ترابرد الکترونها در این مواد، عامل غیر سهموی بودن نواری و تاثیر آن بر روی جرم موثر الکترونها در هر دره در نظر گرفته شود. در این پژوهش نتایج شبیه سازی مونت کارلو از خواص ترابرد الکترونها در حجم دو ماده InP و GaAs در دمای اتاق بررسی شده است. اثرات در نظر گرفتن دره های بالاتر انرژی (L, X) در ترابرد الکترونها بررسی شده و چگالی تعداد الکترونها در هر یک از این دره های انرژی بر حسب میدان های الکتریکی اعمالی محاسبه شده است. در بخش های بعدی ابتدا روش شبیه سازی به کار برده شده توضیح داده شده و در پایان نتایج به دست آمده بررسی می گردد.

جدول ۱: مشخصات نواری استفاده شده در شبیه سازی مونت کارلو برای ساختار زینک

بلند InP.

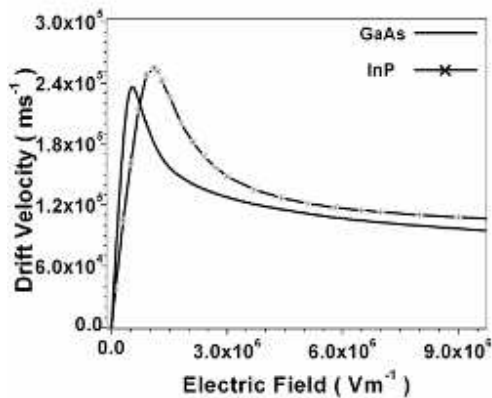
نام دره	Γ	X	L
تعداد دره ها ev^{-1}	۱	۴	۳
ضریب غیر سهموی	.۷	.۵	.۵۷
جرم موثر الکترون m^*/m_0	۰.۰۷۳	۰.۳	۰.۶
گاف انرژی ev	۱.۳۵	۱.۹۵	۲.۱

روش شبیه سازی:

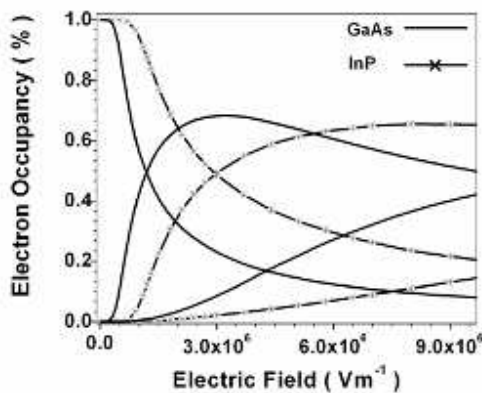
در مدل به کار برده شده، فرض می شود که در ابتدا ده هزار شبه ذره در فضای اندازه حرکت، دره های انرژی غیر سهموی را در اولین نوار رسانش اشغال کرده اند. از تبدیلات Herring-Vogt استفاده شده تا اندازه حرکت ذرات را در حین جابجایی و پراکندگی



InP در دره مرکزی نسبت به نیمرسانای GaAs است. مقادیر محاسبه شده سرعت سوق الکترونها در این دو ماده نسبت به مقادیر تجربی اندازه گیری شده توسط Kanskaya و همکارانش کمی کوچکتر است که علت آن در این است که Kanskaya و همکارانش جرم موثر الکترونها را در دره های بالاتر انرژی برابر جرم الکترون آزاد در نظر گرفتند [5]. شکل ۲ درصد اشغال الکترونها را در دره های انرژی بر حسب میدان الکتریکی اعمالی نشان میدهد. میدان آستانه برای انتقال الکترونها از دره مرکزی Γ به دره های بالاتر در هر دره تابعی از فاصله جدایی بین دره ای و چگالی حالات الکترونی در دره انرژی است. چنانچه از این شکل ملاحظه می شود قبل از میدان بحرانی تمامی الکترونها در دره مرکزی Γ بوده و سپس با افزایش میدان الکتریکی اعمالی الکترونها به دره های بالاتر انرژی پراکنده می شوند.



شکل ۱: مقایسه ای از سرعت سوق الکترونها در ساختار زینک بلند در دو ماده InP و InAs در دمای اتاق.



شکل ۲: مقایسه ای از تراکم الکترونها در دره های انرژی در دو ماده GaAs و InP در دمای اتاق.

جدول ۲: مشخصات نواری استفاده شده در شبیه سازی مونت کارلو برای ساختار زینک

بلند GaAs

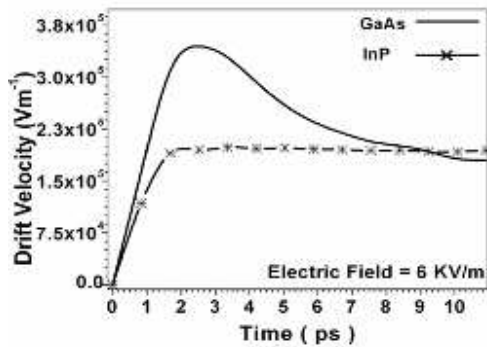
نام دره	Γ	X	L
تعداد دره ها	۱	۴	۳
eV^{-1} ضریب غیر سهموی	۰.۶۱	۰.۴۱	۰.۲
جرم موثر الکترون m^*/m_0	۰.۰۶۱	۰.۲۲	۰.۵۲
eV گاف انرژی	۱.۴۲۵	۱.۳۲	۱.۹۴

جدول ۳: پارامتر های فیزیکی مربوط به InP و GaAs برای ساختار زینک بلند در دمای اتاق.

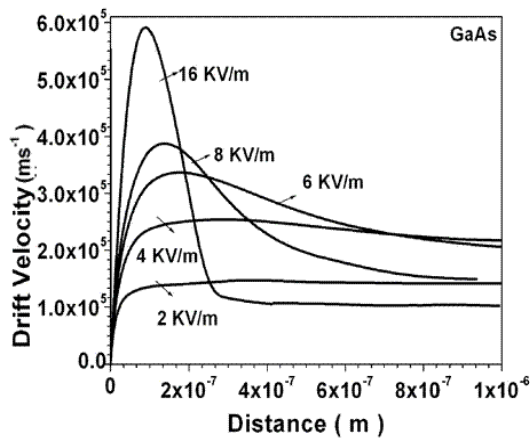
پارامتر	GaAs	InP
چگالی cm^{-3}	۰.۳۷۵	۴۸۱۰
ϵ_0 ثابت دی الکترونیک در فرکانس های بالا	۱۰/۹۲	۹/۵۵
ϵ_0 ثابت دی الکترونیک در فرکانس های پایین	۱۲/۲	۱۲/۴
انرژی فونون های اپتیکی meV	۲۵	۲۵
پتانسیل تغییر شکل آکوستیکی eV	۷/۲	۸/۳
سرعت صوت ms^{-1}	۵۰۰۰	۵۳۰۰

نتایج شبیه سازی:

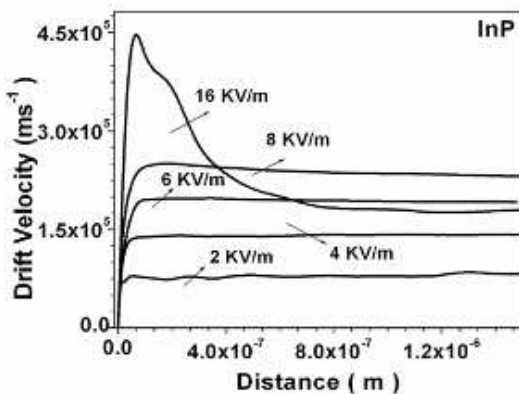
در این بخش نتایج شبیه سازی مونتو کارلو در دو نیمرسانای InP و GaAs در حضور میدان های الکتریکی شدید نشان داده میشود. نتایج به دست آمده از این شبیه سازی توانایی این مواد را در ساخت قطعات مختلف اپتیکی نشان خواهد داد. شکل ۱ مشخصه سرعت سوق الکترونها بر حسب میدان الکتریکی اعمالی در دمای اتاق و با چگالی الکترونی از مرتبه $10^{17} cm^{-3}$ را برای دو ماده نشان می دهد. چنانکه از این شکل ملاحظه می شود پیک سرعت سوق برای InP در حدود $2.5 \times 10^5 ms^{-1}$ و برای GaAs در حدود $2.4 \times 10^5 ms^{-1}$ است. در میدان های الکتریکی بالاتر، به دلیل وجود پراکندگی بین دره ای ناشی از فونون های نوری، سرعت سوق برای هر دو ماده به حد اشباع $1.5 \times 10^5 ms^{-1}$ میرسد. میدان های آستانه برای پراکندگی الکترونها از دره مرکزی Γ به دره های بالاتر انرژی (X, L) چنانکه از شکل ۱ ملاحظه می شود برای InP و GaAs به ترتیب در حدود $4 \times 10^5 Vm^{-1}$ و $3 \times 10^5 Vm^{-1}$ می باشد. سرعت سوق الکترونی بیشتر InP نسبت به GaAs چنانچه از جداول ۱-۳ ملاحظه می شود، ناشی از جرم موثر بیشتر



شکل ۳: نمودار پاسخ زمانی سرعت سوق الکترونها در حالت ناپایدار در دو نیمرسانا GaAs و InP در دمای اتاق.

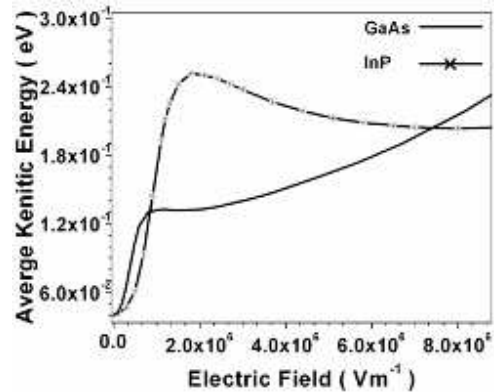


شکل ۴: تغییرات تحرک پذیری بر حسب ابعاد نمونه در حالت ناپایدار در نیمرسانای GaAs در دمای اتاق.



شکل ۵: تغییرات تحرک پذیری بر حسب ابعاد نمونه در حالت ناپایدار در نیمرسانای InP در دمای اتاق.

شکل ۳ نمودار انرژی جنبشی میانگین الکترونها را بر حسب میدان الکتریکی اعمالی در دو ماده نیمرسانای InP و GaAs نشان میدهد. چنانچه از این شکل ملاحظه می شود انرژی جنبشی میانگین الکترونها به ازای تمامی میدان های الکتریکی اعمالی در InP بیشتر از GaAs می باشد. این تفاوت انرژی جنبشی میانگین الکترونها ناشی از جرم موثر کمتر الکترونها در GaAs است.



شکل ۴: مقایسه ای از انرژی جنبشی میانگین الکترونها دو ماده InP و InAs در دمای اتاق.

شکل ۳ نمودار سرعت سوق الکترونها را بر حسب پاسخ زمانی در حالت ناپایدار در دو ماده GaAs و InP نشان می دهد. چنانچه ملاحظه می شود، اعمال یک میدان الکتریکی آنی از مرتبه ۶ KV/m باعث می شود که در GaAs الکترونها به سرعت سوقی از مرتبه $3.4 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ برسند، در صورتی که در InP سریعاً به حالت اشباع از مرتبه $1.9 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ می رسد.

در اشکال ۵ و ۶ نیز سرعت سوق الکترونها بر حسب فاصله مکانی پیموده شده در حالت ناپایدار در دو ماده InP و GaAs به ازای میدانهای الکتریکی اعمالی متفاوت نشان داده شده است. مقایسه این دو نمودار نشان می دهد که به ازای کلیه میدانها، سرعت سوق در GaAs همواره بیشتر از InP بوده و در فواصل مکانی بیشتری به حالت اشباع می رسد. علت چنین رفتاری به جرم موثر کوچکتر الکترونها در سه دره متوالی GaAs نسبت به InP است. به دلیل رسیدن سریع الکترونها به سرعت اشباع در InP، این ماده خواص اپتیکی و اپتو الکترونیکی بهتری را داراست.



نتیجه گیری :

شبیه سازی مونتو کارلو برای ترابرد الکترونهادر حالات پایدار و ناپایدار در دمای اتاق انجام پذیرفته است. نتایج شبیه سازی نشان میدهد که این $2.5 \times 10^{-5} \text{ms}^{-1}$ مواد دارای سرعت سوقی از مرتبه می باشند. و میدان های آستانه می باشد. $4 \times 10^{-5} \text{Vm}^{-1}$ آنها در حدود

همچنین به دلیل اشباع سریع سرعت سوق الکترونی در نیمرسانای InP این ماده قابلیت لازم را در طراحی و ساخت قطعاتی اپتوالکترونیکی را دارد.

مرجع ها :

- [1] S. Nakamura, M. Senoh and T. Mukai, *Appl. Physics. Lett.* 62, 2390 (1993)
- [2] H. Arabshahi; "*Modern* (1992) Wiley, New York *Physics Letters B*";
- [3] F. Matossi and F. Stern; "*Physics Rev. 111.*"; 472, (1996)
- [4] H. Arabshahi; "*Modern Physics Letters B*"; 20, (2006) 787
- [5] L. M. Kanskaya and S. I. Kokhanovskii; "*Sov. Phys. Semicond.*"; 17, (1983) 449

*Email: Khalvati.mohammad@gmail.com