

خواص ترابرد الکترونیهای داغ در حالت پایدار در نیمرسانای ZnO

گل افروز شهری، سپیده^۱؛ عربشاهی، هادی^۲

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم، سبزوار

گروه فیزیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

چکیده :

با استفاده از شبیه‌سازی آنسامبلی مونت کارلو، سرعت سوق الکترونها در ماده نیمرسانای ZnO در مقایسه با GaN محاسبه شده است. این شبیه‌سازی بر اساس مدل سه دره‌ای بوده و اثرات غیرسهوی بودن نوارها نیز منظور شده است. هم‌چنین در این شبیه‌سازی عوامل مختلف و پراکندگی الکترون‌ها از فونون‌ها و اتم‌های ناخالصی در نظر گرفته شده است. مشخصه‌های ترابرد الکترون‌ها در نیمرسانای ZnO نشان می‌دهد که ماکزیمم سرعت سوق الکترون‌ها در این ماده از مرتبه 10^5 ms^{-1} در میدان شکستی از مرتبه 10^7 vm^{-1} است. سرعت سوق و میدان شکست بالا در ZnO کاربردهای این ماده در طراحی قطعات الکترونیکی در توان‌ها و دماهای بالا را پیشنهاد می‌کند.

Hot Electron Transport Properties in Steady-State in ZnO

Golafrooz Shahri, Sepideh¹; Arabshahi, Hadi²

¹ Department of Physics, Tarbiat Moallem University, Sabzevar, Iran

² Department of Physics, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Abstract

The result of an ensemble Monte carlo simulation of electron drift velocity respons on the application field in bulk ZnO and GaN are presented All dominant scattering mechanisms in the structure considered have been taken into account. It is found that electron velocity overshoot only occurs when the electric field is increased to a valve above a certain critical field. the Maximum electron velocity in ZnO is about 10^5 ms^{-1} at the break down electric field of 10^7 vm^{-1} our steady-state results are I fair agreement with other recent calculation.

PACS No.72

موقعیت‌های Γ ، U ، K قرار می‌گیرند. این دره‌های انرژی غیرسهومی بوده و لذا لازم است که در محاسبات خواص ترابرد الکترون‌ها در این مواد عامل غیرسهومی بودن نواری و تاثیر آن بر روی جرم موثر الکترون‌ها در هر دره در نظر گرفته شود. در این پژوهش نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو از خواص ترابرد الکترون‌ها در حجم ماده نیمرسانای ZnO در مقایسه با GaN در دمای اتاق و دماهای بالاتر بررسی شده است. اثرات در نظر گرفتن دره‌های بالاتر

مقدمه :

امروزه اکسیدروی به عنوان یک ماده مناسب برای دماهای بالا، ساخت وسایل الکترونی توان بالا و هم‌چنین در ساخت زیرلایه‌های مناسب در ترکیبات دوتایی نیتريد‌های گروه III بسیار مورد توجه است [۳-۸]. این نیمرسانا دارای گاف انرژی مستقیم از مرتبه 3.4 eV و ساختار بلوری وورتسایت است. مطالعات ساختار نواری در این ماده نشان می‌دهد که در اولین نوار انرژی، پایین دره‌ها در

جدول ۱- مشخصات نواری استفاده شده در شبیه سازی مونت کارلو برای ساختار وورتسایت ZnO

نام دره	Γ	U	K
تعداد دره ها	۱	۶	۲
α ضریب غیر سهوی (ev^{-1})	۰/۶۶	۰/۰۵	۰/۵
جرم مؤثر	۰/۱۷	۰/۷	۰/۹
گاف انرژی (ev)	۳/۴۳	۲	۳/۸

جدول ۲- پارامتر های فیزیکی ZnO در دمای اتاق

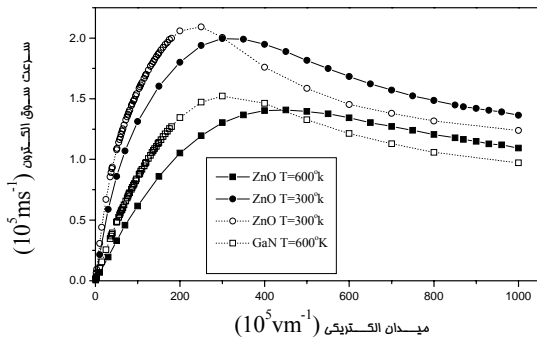
پارامتر	
cm^{-3} چگالی	۵۶۰۰
ϵ_{∞} ثابت دی الکتریک در فرکانس بالا	۳/۷
ϵ_0 ثابت دی الکتریک در فرکانس پایین	۸/۲
انرژی فونون های اپتیکی (ev)	۰/۹۹
پتانسیل تغییر شکل آکوستیکی (ev)	۱۵
سرعت صوت (ms^{-1})	۶۴۰۰

انرژی (K و U) در ترابرد الکترونها بررسی شده و سپس تحرک پذیری الکترونها در میدانهای ضعیف نیز محاسبه شده اند. در بخش های بعدی ابتدا روش شبیه سازی به کار برده شده [۱-۲]، توضیح داده شده و در پایان نتایج به دست آمده بررسی می گردد.

روش شبیه سازی مونت کارلو:

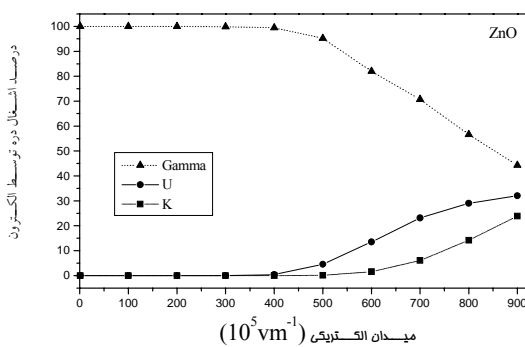
در مدل بکاربرده شده، فرض می شود که در ابتدا پنج هزار شبه ذره در فضای اندازه حرکت، دره های انرژی غیر سهوی را در اولین نوار رسانش مطابق با آمار مکسول-بولتزمن اشغال کرده اند. معادلات میدان الکتریکی بطور خود سازگار با استفاده از روش اختلاف معین حل شده است و در طی هر برخورد زمانی شبه ذرات، پتانسیل شبکه ای در ماده نیم رسانا 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. پارامترهای الکتریکی و ساختار نواری نیم رسانای ZnO که در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند در جداول ۱ و ۲ گردآوری شده است.

. همچنین ملاحظه می‌شود که ماکزیمم سرعت سوق با افزایش دما کاهش یافته و به سمت میدان‌های الکتریکی بزرگتر متمایل می‌شود.



شکل ۲: اثر دما بر روی سرعت سوق الکترونها در ترکیبات نیمرسانای ZnO و GaN.

شکل ۳ در صد اشغال الکترونها را در دره‌های انرژی بر حسب میدان الکتریکی اعمالی نشان می‌دهد. میدان آستانه برای انتقال الکترونها از دره مرکزی Γ به دره‌های بالاتر در هر ماده تابعی از فاصله جدایی بین دره‌ای و چگالی حالات الکترونی در آن دره انرژی است. چنانچه از شکل ملاحظه می‌شود، قبل از میدان بحرانی تمامی الکترونها در دره مرکزی Γ بوده و سپس با افزایش میدان الکتریکی اعمالی، الکترونها به دره‌های بالاتر انرژی پراکنده می‌شوند.

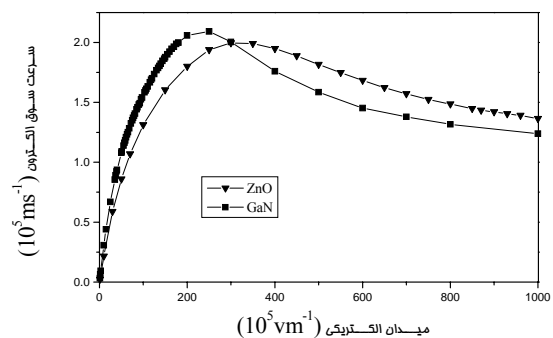


شکل ۳: مقایسه ای از تراکم الکترونها در دره های انرژی در نیمرسانای ZnO در دمای اتاق.

نتایج شبیه‌سازی:

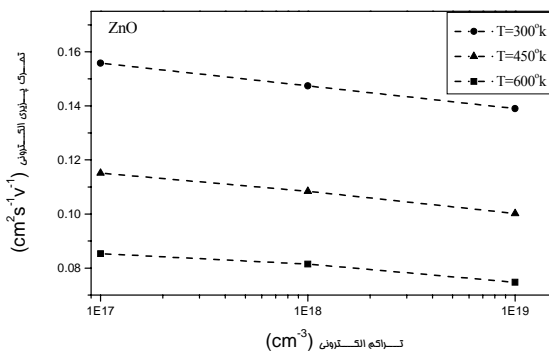
در این بخش نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو در دو نیمرسانای ZnO و GaN در حضور میدان‌های الکتریکی شدید نشان داده می‌شود.

شکل ۱ مشخصه سرعت سوق الکترون‌ها برحسب میدان الکتریکی اعمالی در دمای اتاق و با چگالی الکترونی از مرتبه 10^{17} cm^{-3} را برای دو ماده نشان می‌دهد. چنانچه از این شکل ملاحظه می‌شود. پیک سرعت سوق برای ZnO در حدود $1/98 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ و برای GaN در حدود $2 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ است. در میدان‌های الکتریکی بالاتر، به دلیل وجود پراکندگی بین‌دره‌ای ناشی از فونون‌های نوری، سرعت سوق برای دو ماده به حد اشباع $1/3 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ می‌رسد. میدان‌های اشباع آستانه برای پراکندگی الکترونها از دره مرکزی Γ به دره‌های بالاتر انرژی برای ZnO و GaN به ترتیب در حدود $3 \times 10^6 \text{ Vm}^{-1}$ و $2/35 \times 10^6 \text{ Vm}^{-1}$ است. سرعت سوق الکترونی کمتر ZnO نسبت به GaN ناشی از جرم مؤثر بیشتر الکترونها در دره‌های مجاور (K و U) و همچنین فواصل بین‌دره‌ای بیشتر در این ماده نسبت به GaN است.



شکل ۱: مقایسه ای از سرعت سوق الکترونها در ساختارهای ZnO و GaN در دمای اتاق.

شکل ۲ اثر دما بر روی سرعت سوق الکترون‌ها را در حجم نیمرساناهای ZnO و GaN نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشاهده می‌شود، با افزایش دما، سرعت سوق کاهش می‌یابد. چنین اثری ناشی از افزایش آهنگ پراکندگی درون‌دره‌ای و بین‌دره‌ای است



شکل ۵: نمودار تغییرات تحرک پذیری الکترونی ZnO بر حسب تراکم الکترون‌ها در دماهای مختلف.

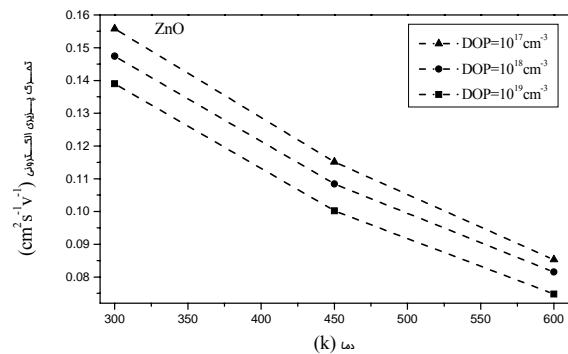
نتیجه گیری :

شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای ترابرد الکترون‌ها در حالت پایدار در نیمرسانای ZnO انجام پذیرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این ماده دارای سرعت سوقی از مرتبه $1/98 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ است و میدان آستانه آن در حدود $3 \times 10^7 \text{ Vm}^{-1}$ می‌باشد. چنین سرعت سوقی و میدان آستانه بالایی، قابلیت این ماده را در ساخت قطعات الکترونیکی در دماها و توان‌های بالا را پیشنهاد می‌کند.

مراجع:

- [1] H. Arabshahi, *Modern Physics Letters B*. **20** 787 (2006)
- [2] H. Arabshahi and M. H. Ghasemian, *Modern Physics Letters B*. **22** 1397 (2006)88 (1998)
- [3] Y. Chen, D. M. Bagnall, H. J. Koh, K. T. Park, Z. Q. Zhu and T. Yao, *J. Appl. Phys.* **84**, 3912 (1998)
- [4] P. Fons, K. Iwata, S. Niki, A. Yamada and K. Matsubara, *J. Crystal Growth* **201**, 627 (1999)
- [5] R. D. Vispute, V. Talyansky, Z. Trajanovic, S. Choojun, M. Downes, R. P. Sharma and A. A. Iliadis, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 2735 (1997)
- [6] J. Narayan, K. Dovidenko, A. K. Sharma and S. Oktyabrskay, *J. Appl. Phys.* **84**, 2597 (1998)
- [7] Y. Segawa, A. Ohtomo, M. Kawasaki, H. Koinuma, Z. K. Tang, P. Yu and G. K. L. Wong, *Phys. Stat. Sol.* **202**, 669 (1997)
- [8] Y. Liu, C. R. Gorla, S. Liang, N. Emanetoglu and M. Wraback, *J. Electron Mater.* **29**,69 (2000)

شکل ۴ تغییرات تحرک پذیری الکترون را بر حسب دما برای ساختار ZnO در حد میدان‌های الکتریکی پایین نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود نمونه با تراکم الکترونی کمتر در تمام دماها دارای تحرک پذیری بیشتری است و با افزایش دما این تحرک پذیری کم می‌شود چرا که با افزایش دما آهنگ پراکندگی از ناخالصی‌های یونیزه بیشتر است.



شکل ۴: نمودار تغییرات تحرک پذیری الکترونی ZnO بر حسب دما برای چگالی اتمهای ناخالصی متفاوت.

شکل ۵ تغییرات تحرک پذیری الکترون بر حسب تراکم الکترون‌ها را در حد میدان‌های پایین در دماهای مختلف نشان می‌دهد که ملاحظه می‌شود با افزایش دما تحرک پذیری الکترونی کاهش می‌یابد.