# مقایسه خواص ترابرد الکترونی در نیمرساناهای GaAs و 6H-SiC در میدان های الکتریکی شدید با استفاده از شبیه سازی آنسامبلی مونت کارلو

**خلوتی ، محمد رضا ؛ عربشاهی، هادی**

*گروه فیزیک دانشگاه تربیت معلم سبزوار*

## چکیده

*خواص ترابرد الکترونها در نیمرسانای 6H-SiC در میدان های الکتریکی شدید با استفاده از شبیه سازی آنسامبلی انجام پذیرفته است. در این شبیه سازی از مدلی سه دره ای با در نظر گرفتن پراکندگی الکترونها از ارتعاشات شبکه و عوامل ناخالصی استفاده شده است. مشخصه های ترابرد الکترونها در 6H-SiC در مقایسه با GaAs نشان می دهد که سرعت سوق الکترونی در دو ماده تقریبا با هم برابر بوده، ولی میدان الکتریکی آستانه در 6H-SiC تقریبا پنجاه برابر GaAs است. لذا می توان از 6H-SiC در ساخت قطعات الکترونیکی در میدان های الکتریکی شدیدتر استفاده نمود.*

# Comparison of Electron Transport in GaAs and 6H-SiC in High Electric Field Using Ensemble Monte Carlo Simulation

**Khalvati, Mohammad Reza ; Arabshahi, Hadi**

*Physics Department, Tarbiat Moallem University, Sabzevar, Iran*
*hadi.arabshahi@sttu.ac.ir*
*khalvati.mohammad@Gmail.com*

## Abstract

*High electron transport propering in 6H-SiC has been carried out using an ensemble monte carlo simulation. Using a three valley model and considering all electron scattering process. We have show that electron drift velocity in material is approximately the same but the threshold field in 6H-SiC is about 50 % higher than GaAs. So 6H-Sic device currenly use in high-power transistor applications.*

*PACS No. 72*

### مقدمه

در سال های اخیر نیمرسانای SiC در ساخت بسیاری از قطعات الکترونیکی و اپتیکی در حد ولتاژ و دما های بالا، کاربرد فراوانی داشته است[1]. SiC عموما در ساختار ورتسایت رشد می یابد و در گونه های بلوری 3H-SiC و 4H-SiC و6H-SiC متبلور می شود[2-3] . در این مقاله با توجه به خواص ترابردی الکترونی در گونه بلوری 6H-SiC [4] خواص ترابردی در این ماده نیمرسانا را بررسی نموده و آن را با ماده استاندارد GaAs مقایسه نموده ایم. با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو، مدلی سه دره ای برای بررسی ترابرد الکترونها در 6H-SiC در حالت ناپایدار مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعات ساختار نواری در این مواد نشان می دهد که در اولین نوار انرژی، پایین ترین دره ها در موقعیت Γ و U و K قرار می گیرند. این دره ها غیر سهموی بوده و لذا لازم است که در محاسبات خواص ترابرد الکترونها در این ماده، عامل غیر سهموی سهموی بودن نواری و تاثیر آن بر روی جرم موثر الکترونها، در نظر گرفته شود.

### 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 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[5].

تراکم الکترونی در نظرگرفته شده در این شبیه سازی $10^{16}$ $cm^{3}$است. پارامتر های الکتریکی و ساختار نواری دو ماده که در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند درجداول ۱ تا ۳ گردآوری شده است.

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

| نام دره | Γ | X | L |
|---|---|---|---|
| تعداد دره ها $ev^{-1}$ | ۱ | ۴ | ۳ |
| ضریب غیر سهموی | 0.61 | 0.41 | 0.2 |
| جرم موثر الکترون $m^*/m_0$ | 0.061 | 0.22 | 0.52 |
| گاف انرژی ev | 1.425 | 1.32 | 1.94 |

جدول 2 : مشخصات نواری استفاده شده در شبیه سازی مونت کارلو برای ساختار ورتسایت 6H-SiC

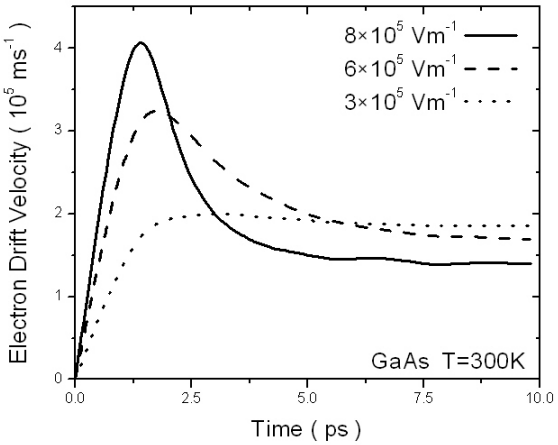
| نام دره | Γ | K | U |
|---|---|---|---|
| تعداد دره ها | ۱ | ۲ | ۶ |
| ضریب غیر سهموی $eV^{-1}$ | ۰.۳۲ | ۰.۵ | ۰.۰۳ |
| جرم موثر الکترون $m^*/m_0$ | ۰.۲۸ | ۰.۳۹ | ۰.۵۴ |
| گاف انرژی eV | ۳.۲ | ۳.۸۷ | ۳.۸۱ |

جدول ۳ : پارامتر های فیزیکی مربوط به GaAs و 6H-SiC در دمای اتاق.

| پارامتر | GaAs | 6H-SiC |
|---|---|---|
| چگالی $cm^{-3}$ | 3750 | ۳۲۱۰ |
| ثابت دی الکترونیک در فرکانس های بالا $\varepsilon_\infty$ | 10.92 | ۶.۵ |
| ثابت دی الکترونیک در فرکانس های پایین $\varepsilon_0$ | 12.2 | ۹.۷ |
| انرژی فونون های اپتیکی meV | 25 | ۱۲۰ |
| پتانسیل تغییر شکل آکوستیکی eV | 7.2 | ۱۵ |
| سرعت صوت $ms^{-1}$ | 5000 | ۱۳۷۳ |

## نتایج شبیه سازی

شکل ۱ نمودار سرعت سوق الکترونها را بر حسب پاسخ زمانی حالت ناپایدار الکترونها در ماده GaAs نشان می دهد. چنانچه ملاحظه می شود، اعمال یک میدان آنی از مرتبه $3\times10^5$ $Vm^{-1}$ باعث می شود که الکترونها پس از ۱.۵ پیکو ثانیه، به حالت اشباع برسند. این میدان از میدان آستانه، که حدود $4\times10^5$ $Vm^{-1}$ است، کمتر است و از این رو اکثر الکترونها ، در همان دره مرکزی باقی می مانند، و به همین دلیل سریعا به حالت پایدار می رسند. با افزایش میدان به مقداری بیش از میدان آستانه از مرتبه $8\times10^5$ $Vm^{-1}$، مشاهده می شود که سرعت سوق الکترونها پیکی از مرتبه $4\times10^5$ $ms^{-1}$ می زند. علت چنین رفتاری این است که این میدان قادر است الکترونها را به دره های بالاتر انرژی، که جرم موثر الکترونی در آن زیاد تر از دره مرکزی است، پرتاب کند. با توجه به شکل، سرعت سوق الکترونها در میدان فوق، تقریبا پس از ۵ پیکو ثانیه، به حالت پایدار می رسد. ملاحظه می شود که هر چه میدان اعمالی افزایش یابد این پیک به مقادیر، بالاتری می رسد و قله نمودار، به سمت چپ جابجا می شود. علت چنین رفتاری آنست که در میدان های الکتریکی شدیدتر، چگالی الکترونهای پراکنده شده به دره های بالاتر انرژی افزایش می یابد.این نتایج با داده های تجربی در توافق بسیار خوبی قرار دارد[6].




شکل۱ : نمودار پاسخ زمانی سرعت سوق الکترونها در حالت ناپایدار با میدان-های اعمالی متفاوت در نیمرسانای GaAs در دمای اتاق.

شکل ۲ نمودار درصد اشغال دره های انرژی توسط الکترونهای رسانشی را در GaAs و بر حسب درصد، نشان می

کنفرانس فیزیک ایران ۱۳۸۷
۳ تا ۷ شهریور ۱۳۸۷، دانشگاه کاشان
دانشگاه کاشان