بهبود اثر خودگرمایی AlGaN/GaN HEMT با استفاده از گیت U شکل و فلز در اکسید مدفون

فاطمه پویا[۱]؛ فاطمه حاجی آقالو[۲] ؛ زینب رمضانی[*۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی، دانشگاه فنی و حرفه ای کشور، دانشکده فنی دکتر شریعتی تهران، تهران،
fatima.pouya0013@gmail.com

[۲] دانشجوی کارشناسی، دانشگاه فنی و حرفه ای کشور، دانشکده فنی دکتر شریعتی تهران، تهران،
fhaji1414@gmail.com

[*۳] مدرس، دانشگاه فنی و حرفه ای کشور، دانشکده فنی دکتر شریعتی تهران، تهران،
Ramezaniz@ymail.com (نویسنده مسئول)

چکیده

در این مقاله تاثیر اثر خودگرمایی بر مشخصه جریان–ولتاژ درین افزاره AlGaN/GaN HEMT مورد بررسی قرار گرفته است. اثر خودگرمایی با میدان الکتریکی رابطه مستقیم دارد، و افزایش آن باعث کاهش جریان–ولتاژ درین می شود. ایده‌ی به کار رفته در این پژوهش استفاده از حالت فرورفتگی گیت به شکل U و استفاده از فلز برای جذب خطوط میدان در بستر می‌باشد. در این مقاله نشان داده شده است که این ایده باعث بهبود چشمگیری در افزایش جریان–ولتاژ درین می شود. چگونگی تاثیر این ایده بر رفتار گرمایی افزاره AlGaN/GaN HEMT بیان گردیده است.

کلمات کلیدی

ترانزیستورهای با قابلیت تحرک الکترونی بالا، اثر خودگرمایی، میدان الکتریکی، فرو رفتگی گیت، جریان–ولتاژ درین

۱- مقدمه

یکی از عوامل تاثیرگذار بر عملکرد افزاره‌های قدرت پدیده خودگرمایی است. جنس مواد استفاده شده در هر لایه از افزاره‌های با قابلیت تحرک الکترونی بالا[۱] بر رفتار گرمایی آن تاثیر گذار است. به سبب مشخصات مطلوب گالیوم نایتراید[۲] نظیر شکاف نوار انرژی بزرگ، بالا بودن سرعت رانشی الکترون و میدان شکست الکتریکی بزرگ، افزاره‌های مبتنی بر گالیوم نایتراید در کاربردهای توان بالا، فرکانس بالا و دما بالا حائز اهمیت می‌باشند[۱].

الکترونگاتیوی بسیار زیاد نیتروژن و تفاوت ثابت شبکه میان آلومینیوم گالیوم نایتراید[۳] و گالیوم نایتراید ، به ترتیب منجربه ایجاد قطبی شدگی خود به خودی و خاصیت پیزو الکتریک می-گردد[۲]. این دو پدیده سبب افزایش الکترون‌های لایه گاز الکترون دو بعدی و در نتیجه افزایش چگالی جریان می‌گردند. اثر خودگرمایی در افزاره‌های مبتنی بر گالیوم نایتراید بسیار حائز اهمیت است[۳]. در ولتاژهای بزرگ به سبب افزایش اثر خودگرمایی در ناحیه زیر گیت قابلیت حرکت الکترون‌ها درون کانال کاهش می‌یابد. بسته به نوع کاربرد افزاره از بسترهای مختلفی استفاده می شود. توجه به قابلیت هدایت حرارتی بستر در طراحی و ساخت افزاره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است[۴].

علاوه بر بستر، جنس لایه منفعل ساز نیز بر رفتار گرمایی افزاره تاثیر می‌گذارد. همچنین می‌دانیم کنترل جریان به عهده‌ی گیت می باشد[۵].

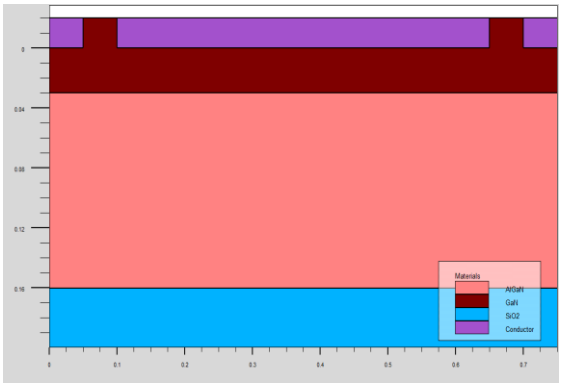
یکی از ویژگی‌های اصلی ساختارهای نانومقیاس با قابلیت تحرک بالای الکترون کارکرد در توان بالا و فرکانس بالا می‌باشد[۶] و همان طور که می‌دانیم عملکرد یک ساختار در این دو حالت باعث ایجاد مشکلات بسیاری می‌گردد که گاه ممکن است باعث عدم کارکرد صحیح یا از بین رفتن افزاره اثر میدان گردد. از جمله این مشکلات می‌توان به افزایش دمای ساختار که کاملا متداول می باشد اشاره کرد[۷].

یکی از مشکلات مهم ترانزیستورهای قدرت وجود پدیده خودگرمایی می‌باشد. اهمیت این پدیده زمانی خود را نشان می‌دهد که ولتاژهای بزرگ به افزاره اعمال می‌گردد[۸]. در اثر پدیده خودگرمایی دمای کانال ترانزیستور در ناحیه زیر گیت افزایش پیدا می‌کند[۹]. وقتی که دمای کانال افزایش پیدا می‌کند باعث می‌شود که قابلیت تحرک الکترون‌های کانال کاهش یابد. به دنبال کاهش قابلیت تحرک الکترون‌های کانال، جریان درین در ولتاژهای درین بزرگ نیز افت می‌کند[۱۰].

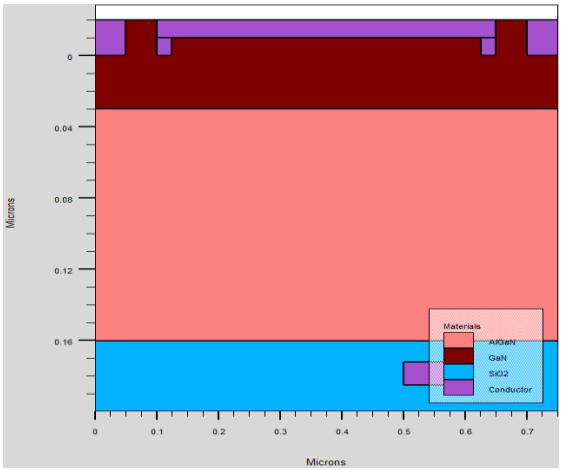
در ولتاژهای درین بزرگ افزایش دمای کانال افزاره سبب کاهش قابلیت حرکت الکترون‌های درون کانال می‌شود.

۲- شبیه سازی ساختار پیشنهادی

در شکل ۱ (الف) ساختار مرسوم[۴] و (ب) ساختار پیشنهادی[۵] نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل(۱):الف) ساختار مرسوم مبتنی بر گالیوم نایتراید
ب)ساختار پیشنهادی مبتنی بر گالیوم نایتراید

ساختار پیشنهادی همان طور که در تصویر مشاهده می شود با ماده گالیم نایتراید است. برای تغییر ماده توسط نرم افزار سیلواکو– اطلس– در قسمت تعریف نواحی مختلف ساختار[۶]، ماده‌ی گالیم نایتراید را تعریف کردیم. یعنی نواحی مختلف ساختار مورد نظر را با یک شماره و ماده مورد نظر آن ناحیه و مختصاتش مشخص کردیم.

در ساختار پیشنهادی از فرورفتگی گیت یا گیت U شکل که باعث کنترل و بهبود جریان درین می‌شود استفاده می‌کنیم همچنین از یک تکه فلز برای جذب خطوط میدان در بستر استفاده می‌کنیم، که باعث توزیع میدان الکتریکی می‌شود. فلز را در بستر در طول لبه گیت به سمت درین یعنی محلی که بیشینه میدان الکتریکی و در نتیجه بیشینه دما در آنجاست قرار می‌دهیم. برای ایجاد ساختار پیشنهادی مقیاس مش بندی را در نرم افزار سیلواکو کوچکتر می‌کنیم که البته این کار اتفاق خوبی است زیرا می‌توانیم خروجی هرچه دقیقتر را ببینیم. در ساختار پیشنهادی ابعاد به کاربرده شده به شرح زیر است:

طول گیت ۰/۵۵ میکرومتر[۷] و ضخامت آن ۰/۰۲ میکرومتر و طول فرورفتگی گیت ۰/۵ میکرومتر و عرض آن ۰/۰۱ میکرومتر است.

طول درین ۰/۰۵ میکرومتر و ضخامت آن ۰/۰۲ میکرومتر است.

طول سورس ۰/۰۵ میکرومتر و ضخامت آن ۰/۰۲ میکرومتر است.

فاصله گیت- درین و گیت- سورس با هم برابر و هر کدام ۰/۰۵ میکرومتر است.

طول بستر که از ماده سلیسیم دی‌اکسید[۸] استفاده شده ۰/۷۵ میکرومتر و ضخامت آن ۰/۰۴ میکرومتر است.

طول فلز در بستر ۰/۱ میکرومتر و ضخامت آن ۰/۰۲ میکرومتر است.

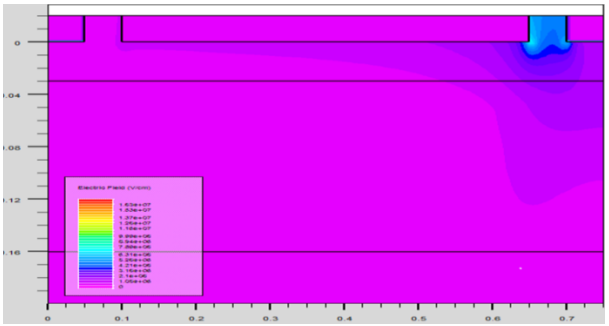
طول هسته که از ماده آلومینیوم گالیوم نایتراید استفاده شده ۰/۷۵ میکرومتر و ضخامت آن ۰/۱۳ میکرومتر است.

طول بافر که از ماده گالیوم نایتراید استفاده شده ۰/۷۵ میکرومتر و ضخامت آن ۰/۰۳ میکرومتر است.

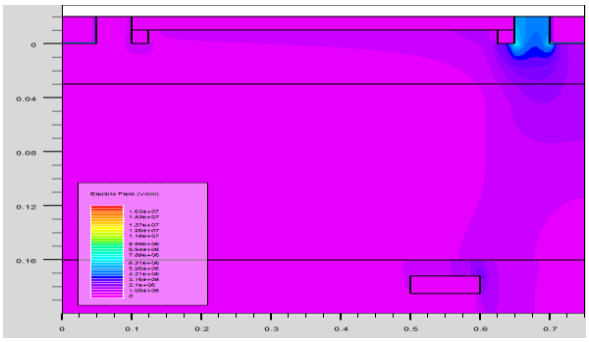
همانطور که می‌دانیم اثر خودگرمایی با اندازه‌ی میدان الکتریکی رابطه مستقیم دارد. یعنی برای کاهش اثر خودگرمایی باید کاری کنیم که میدان الکتریکی درون کانال کاهش یابد . حال ما بررسی میکنیم که آیا ایده‌ی مطرح شده در بالا تاثیری بر اثر خود گرمایی و جریان درین داشته یا نه؟

۳- بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی با اعمال ایده‌ی فرو رفتگی گیت و فلز شناور در اکسید مدفون

در شکل‌های ۲ و ۳ خطوط میدان در ساختار مرسوم و ساختار پیشنهادی نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده میشود در ساختار مرسوم بیشینه میدان الکتریکی در ناحیه زیر گیت در لبه گیت به سمت درین می‌باشد زیرا در این ناحیه غلظت الکترون‌ها بیشتر است، اما در ساختار پیشنهادی به دلیل وجود فلز در اکسید مدفون خطوط میدان به سمت فلز کشیده شده و در نتیجه میدان الکتریکی در ناحیه زیر گیت در لبه گیت به سمت درین کاهش پیدا میکند.

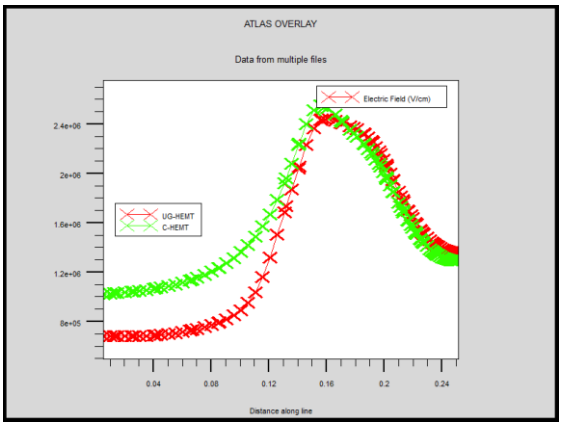


شکل(۲): خطوط میدان الکتریکی در ساختار مرسوم (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)



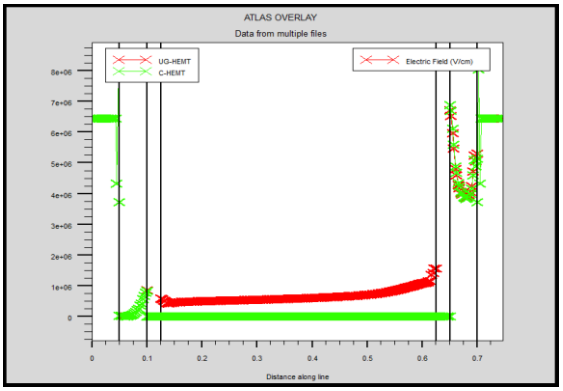
شکل(۳): خطوط میدان الکتریکی در ساختار پیشنهادی (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)

شکل ۴ نمودار میدان الکتریکی را در ساختار مرسوم و ساختار پیشنهادی نمایش می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود نمودار میدان الکتریکی در ساختار پیشنهادی کاهش یافته است.



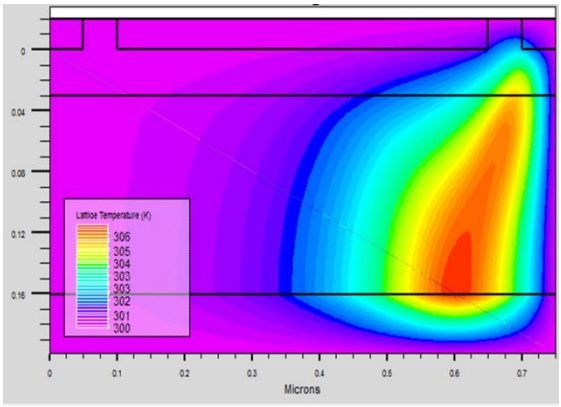
شکل(٤): نمودار مقایسه میدان الکتریکی در کانال ساختار مرسوم و در کانال افزاره پیشنهادی در لبه گیت به سمت درین (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)

نمودار شکل ۵ نیز نشان می‌دهد که میدان الکتریکی در راستای کل ساختار پیشنهادی کاهش یافته است. حال به بررسی نحوه انتشار گرما می‌پردازیم توقع داریم که اثر خودگرمایی در ساختار پیشنهادی کاهش داشته باشد، زیرا مشاهده کردیم که میدان الکتریکی در این ساختار کاهش داشته است.

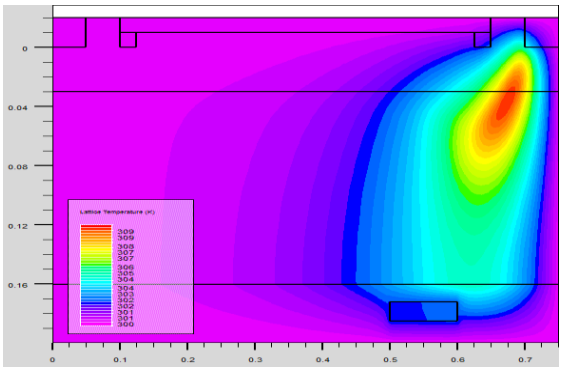


شکل(۵): مقایسه میدان الکتریکی در راستای طول ساختار در هر دو ساختار مرسوم و پیشنهادی

شکل‌های ۶ و ۷ نحوه انتشار گرما به ترتیب در ساختارهای مرسوم و پیشنهادی را نمایش می‌دهند. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود گرما در راستای کل ساختار توزیع شده است اما در شکل ۷ مشاهده می‌کنیم که فلز مدفون در اکسید بستر گرما را به سمت خود می‌کشاند و از توزیع گرما در راستای کل ساختار جلوگیری می‌کند. یعنی فلز گرما را در خود نگه می‌دارد.

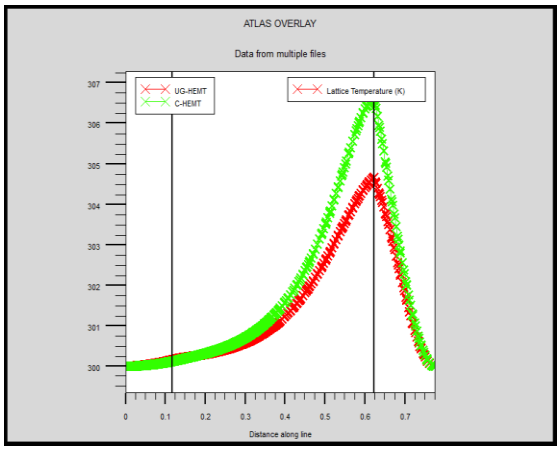


شکل(٦): نحوه انتشار گرما در ساختار مرسوم (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)



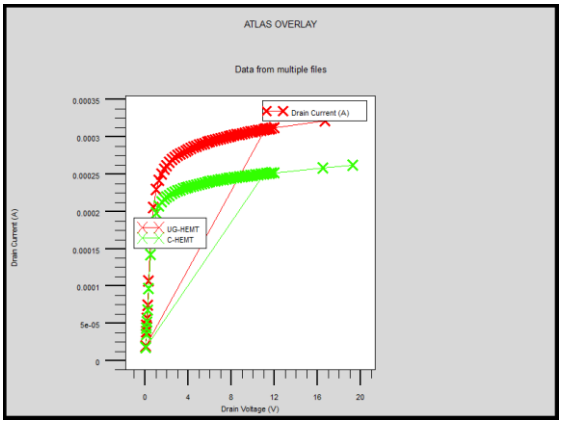
شکل(۷): نحوه‌ی انتشار گرما در ساختار پیشنهادی (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)

همان طور که از قبل توقع داشتیم در ساختار پیشنهادی دما کاهش پیدا کند (زیرا در ابتدا مشاهده کردیم که میدان الکتریکی در ساختار پیشنهادی کاهش داشت) در شکل ۸ از مقایسه نمودار دما در ساختار مرسوم و ساختار پیشنهادی به همان نتیجه مطلوب خود می‌رسیم و مشاهده می‌کنیم که در ساختار پیشنهادی، دما کاهش چشمگیری دارد.



شکل (۸): مقایسه نمودار دما در راستای عمق هر دو ساختار جدید و مرسوم (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)

در شکل ۹ از مقایسه نمودار جریان درین- ولتاژ درین در دو ساختار مرسوم و ساختار پیشنهادی مشاهده می‌کنیم که جریان درین در ساختار پیشنهادی افزایش یافته است.



شکل(۹): مقایسه نمودار جریان درین- ولتاژ درین در هر دو افزاره مرسوم و پیشنهادی (ولتاژ گیت V(۰) و ولتاژ درین V(۲۲) است)

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثرات خودگرمایی AlGaN/GaN HEMT در دو ساختار مرسوم و ساختار پیشنهادی (استفاده از حالت فرورفتگی گیت به شکل U و استفاده از فلز برای جذب خطوط میدان در بستر) مورد بررسی قرار گرفت. طبق بررسی نتایج بدست آمده از شبیه سازی با نرم افزار سیلواکو شبیه ساز Atlas، ساختار مرسوم نسبت به ساختار پیشنهادی دارای میدان الکتریکی بیشتری می‌باشد، در نتیجه در کل ساختار مرسوم دمای بیشتری نسبت به کل ساختار پیشنهادی داریم. که اثر خودگرمایی در ساختار مرسوم بیشتر از ساختار پیشنهادی می‌باشد. همچنین مقاومت دیفرانسیل منفی در ساختار مرسوم بیشتر می‌شود. در نتیجه جریان درین در ساختار مرسوم بسیار کمتر از جریان درین در ساختار پیشنهادی می‌باشد. رسیدن به این نتیجه مطلوب در ساختار پیشنهادی به دلیل استفاده از فرورفتگی گیت U شکل می‌باشد که سبب کنترل بهتر جریان توسط گیت می‌باشد اما در این شرایط دما نیز افزایش می‌یابد که با استفاده از فلز مدفون در بستر دمای کل ساختار را کنترل کردیم.

منابع و مراجع

1.M . khosravi Karin, "simulation study and improvement of electrical charecteristics in High Electron Mobility Field Effect Transistors", Pooyesh Higher Education Institute, pp.41-46, 2017

2. K.S.Grishakov, V.F.Elesin, R.V.Ryzhuk, N.Kargin, S.V.Minnebeav, "Effect of diamond and graphen heat spreaders on characteristics of AlGaN/Gan HEMT, conference of Heterostructures for microwave, power and physics, Technology and devices (Heterostructures), 2015

۳ .S. Pannirselvam ,"study of Singapore , 2016

4.N.Verma, P.Jyotika Jogi , "Quantun simulation of Double Gata Double Heterostructure InAlAs/InGaAs HEMT to Analyze Temperature

Effects, "Microelectronics Research Laboratory, Depowtment of Electronic science A.R.S.D college, university of Delhi south campus, IssN:1473-804x. 2015

5.H. Moradi , T.Namdaran , I . Pordad , . M.Aevazi," structural and Analitical HEMT ",National conference of Technology, Energy and Data on Electrical and computer Engineering, p.l, 2015

6. Ali.Haghshenas, M.fathipour,"self-heating Effect Depend on passivation Layer in AlGaN/GaN Hemt Devices",conferece of physics of Nonequilibrium Atomic systems and composites, PNASc, 2015

7.R.Mazlom, s.Rezaee,"Investigating the Methods for improving the failure voltage in HEMT ,2 nd International conference on Electrical Engineering, p.50. 2017

8. B.Ebrahimi, M.Asadi, "A normally-off fully AlGaN HEMT with high breakdown voltage and figure of merit for power switch applications" ,superlattices and Microstructures, vol.83, p.819, 2015

۹- حجت اله حمیدی، طراحی و رشد یک دید PN به منظور کاربرد به عنوان سلول خورشیدی از جنس GaAS به روش،پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ،اسفند۹۶

۱۰- مجید غفاری،"بهبود ولتاژ شکست ترانزیستورهای با قابلیت تحرک الکترونی بالا بر پایه گالیوم نایترایدِ "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان، صفحه ۲۵، سال ۹۵

زیرنویس‌ها

1- HEMT

2- GaN

3- AlGaN

4- Conventional HEMT (C-HEMT)

5- U shape gate metal in buried oxide in HEMT (UG-HEMT)

6- region

7- Micro meter(µm)

8- SiO_2