2D MoS_2 ASOSIDAGI MAYDONIY TRANZISTORLARDA KANAL QALINLIGINING ELEKTR XUSUSIYATLARIGA TA'SIRI

Ro'zimatova Sunbuloy Ravshan qizi
Urganch RANCH texnologiya universiteti

Annotatsiya. *Ushbu tezisda ikki o'lchamli molibden disulfid (MoS_2) asosidagi maydoniy tranzistorlarda kanal qalinligining qurilmaning elektr xususiyatlariga ta'siri nazariy jihatdan tahlil qilindi. MoS_2 ning monoqatlamli, bir necha qatlamli va ko'p qatlamli holatlarida elektron tuzilishi, taqiqlangan zona kengligi, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi hamda zatvor orqali boshqarilish xususiyatlarining o'zgarishi ko'rib chiqildi. Kanal qalinligining o'zgarishi tranzistorning drain toki, threshold kuchlanishi, ON/OFF toki nisbati va boshqa asosiy elektr parametrlariga bevosita ta'sir qilishi aniqlandi. Monoqatlamli MoS_2 da kuchli elektrostatik gate nazorati va katta ON/OFF nisbati kuzatilishi, qatlamlar sonining ortishi bilan esa materialning elektron xususiyatlari bulk MoS_2 ga yaqinlashishi ko'rsatildi. Olingan natijalar MoS_2 asosidagi nanoelektron qurilmalar uchun optimal kanal qalinligini tanlash muhim ekanligini ko'rsatadi.*

Kalit so'zlar: *2D materiallar, MoS_2, molibden disulfid, maydoniy tranzistor, FET, kanal qalinligi, qatlamlar soni, taqiqlangan zona, drain toki, threshold kuchlanishi, ON/OFF nisbati, zaryad tashuvchilar harakatchanligi, nanoelektronika.*

KIRISH

So'nggi yillarda nanoelektronika va yarimo'tkazgich texnologiyalarining jadal rivojlanishi tranzistorlarning o'lchamlarini yanada kichraytirish va ularning funksional imkoniyatlarini oshirishni talab qilmoqda. An'anaviy hajmiy yarimo'tkazgich materiallar bilan bir qatorda atomar qalinlikdagi ikki o'lchamli materiallardan foydalanish ushbu muammoni hal qilishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, o'tish metallari dixalkogenidlari guruhiga kiruvchi molibden disulfid (MoS_2) o'zining o'ziga xos elektron, optik va fizik xususiyatlari bilan maydoniy tranzistorlar uchun katta qiziqish uyg'otmoqda.

MoS_2 qatlamli kristall tuzilishga ega bo'lib, uning alohida qatlamlari van-der-Vaals kuchlari orqali o'zaro bog'langan. Shu sababli MoS_2 ni juda yupqa, hatto bir atom

qatlamigacha ajratish mumkin. Materialning qatlamlar soni kamaytirilganda uning elektron tuzilishida sezilarli o‘zgarishlar yuz beradi. Xususan, ko‘p qatlamli MoS_2 ning bilvosita taqiqlangan zonasi monoqatlamli MoS_2 da to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqiqlangan zonaga aylanishi uning elektron va optik xususiyatlarini tubdan o‘zgartiradi.

Maydoniy tranzistorlarda MoS_2 kanali orqali oqayotgan tok zatvor kuchlanishi yordamida boshqariladi. Bunda kanal qalinligi tranzistorning elektrostatik boshqarilish darajasini belgilovchi muhim strukturaviy parametr hisoblanadi. Kanal qanchalik yupqa bo‘lsa, gate elektr maydonining kanal elektronlariga ta’siri shunchalik kuchli bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, kanal qalinligining ortishi zaryad tashuvchilarning transport xususiyatlari va kontakt qarshiligiga ham ta’sir ko‘rsatadi.

Shu nuqtai nazardan, 2D MoS_2 asosidagi maydoniy tranzistorlarda kanal qalinligi va elektr xarakteristikalar o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rganish nanoelektron qurilmalarni loyihalash uchun muhim ahamiyatga ega.

TADQIQOT USULLARI

Tadqiqotda 2D MoS_2 asosidagi maydoniy tranzistorlarning elektr xususiyatlari mavjud ilmiy ma’lumotlar va yarimo‘tkazgich fizikasi qonuniyatlari asosida nazariy tahlil qilindi. MoS_2 ning turli qatlam soniga ega holatlari — monoqatlamli, ikki-uch qatlamli hamda ko‘p qatlamli tuzilmalari o‘zaro taqqoslandi.

Tranzistorning asosiy elektr parametrlari sifatida drain toki I_D, drain-source kuchlanishi V_{DS}, gate kuchlanishi V_G, threshold kuchlanishi V_{th}, zaryad tashuvchilar harakatchanligi va ON/OFF toki nisbati ko‘rib chiqildi. Kanal qalinligining ushbu parametrlar bilan bog‘liqligi MoS_2 ning elektron tuzilishi va elektrostatik gate nazorati asosida tahlil qilindi.

ASOSIY QISM

MoS_2 ning elektr xususiyatlari uning qatlamlar soniga sezilarli darajada bog‘liq. Monoqatlamli MoS_2 da elektronlar ikki o‘lchamli fazoda chegaralangan bo‘lib, materialning elektron tuzilishi ko‘p qatlamli holatdan farq qiladi. Qatlamlar sonining ortishi bilan qatlamlararo o‘zaro ta’sir kuchayadi va natijada elektron energetik holatlari o‘zgaradi.

Maydoniy tranzistorning ishlashida kanal qalinligi ayniqsa muhim parametr hisoblanadi. Zatvor kuchlanishi ta’sirida hosil bo‘ladigan elektr maydoni kanal bo‘ylab zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini o‘zgartiradi. Yupqa MoS_2 kanalida gate maydonining ta’siri kanalning katta qismiga yetib borishi sababli tokni boshqarish samaradorligi yuqori bo‘ladi.

Monoqatlamli MoS_2 ning yana bir muhim afzalligi — katta ON/OFF toki nisbatini hosil qilish imkoniyatidir. Tranzistorning ON holatida kanal orqali zaryad tashuvchilar

oqimi yuqori bo‘lsa, OFF holatida gate kuchlanishi yordamida kanalning o‘tkazuvchanligi keskin kamaytiriladi. Natijada I_{ON}/I_{OFF} nisbati yuqori qiymatlarga erishishi mumkin.

Qatlamlar sonining ortishi bilan esa gate maydonining kanalga elektrostatik ta’siri nisbatan kamayadi. Buning sababi shundaki, qalinroq kanalning ichki qatlamlari gate elektrodidan uzoqroq joylashadi. Shu sababli barcha qatlamlarni bir xil samaradorlik bilan boshqarish qiyinlashadi.

Kanal qalinligi tranzistorning drain tokiga ham ta’sir qiladi. Umuman olganda, kanalning faol kesimining ortishi zaryad tashuvchilar oqimi uchun qo‘shimcha yo‘llarni ta’minlashi mumkin. Biroq yupqa kanalning gate tomonidan samarali boshqarilishi va qalin kanalning yuqoriroq o‘tkazuvchanligi o‘rtasida muvozanat mavjud. Shuning uchun FET qurilmasining maksimal samaradorligi faqat kanal qalinligini oshirish bilan belgilanmaydi.

MoS_2 kanalining qalinligi threshold kuchlanishiga ham ta’sir qilishi mumkin. Threshold kuchlanishi tranzistor kanalida sezilarli tok oqimi boshlanishi uchun zarur bo‘lgan gate kuchlanishini ifodalaydi. Kanal qalinligi, substrat, dielektrik material, interfeysdagi zaryadlar va kontakt xususiyatlari birgalikda V_{th} qiymatini belgilaydi.

Shuningdek, kanal qalinligining o‘zgarishi zaryad tashuvchilar harakatchanligiga ta’sir qilishi mumkin. Yupqa qatlamlarda tashqi muhit, substrat va interfeysdagi nuqsonlarning ta’siri kuchliroq namoyon bo‘lishi mumkin. Qalinroq qatlamlarda esa zaryad tashuvchilar ushbu sirt va interfeys ta’siridan nisbatan kamroq ta’sirlanishi mumkin. Shu sababli amaliy tranzistorlarda kanal qalinligini tanlashda faqat elektrostatik boshqaruv emas, balki tashuvchilar transporti ham hisobga olinishi lozim.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tahlil natijasida 2D MoS_2 asosidagi maydoniy tranzistorlarda kanal qalinligi va elektr parametrlar o‘rtasida bevosita bog‘liqlik mavjudligi aniqlandi. Monoqatlamli MoS_2 kuchli gate nazorati, yuqori ON/OFF nisbati va atomar yupqa kanalning elektrostatik afzalliklari bilan ajralib turadi. Qatlamlar sonining ortishi esa elektron tuzilish, o‘tkazuvchanlik va gate nazoratining o‘zgarishiga olib keladi.

Strukturaviy parametr	**Kanal qalinligi ortishi bilan kuzatiladigan tendensiya**	**FET xususiyatiga ta’siri**
Qatlamlar soni	Ortadi	Elektron tuzilish o‘zgaradi

Taqiqlangan zona	Kamayishga moyil	O‘tkazuvchanlik xususiyatlari o‘zgaradi
Gate nazorati	Nisbatan susayadi	Kanalni boshqarish qiyinlashishi mumkin
Drain toki	Qurilma tuzilishiga bog‘liq holda ortishi mumkin	O‘tkazuvchanlikka ta’sir qiladi
ON/OFF nisbati	Yupqa kanalda yuqori bo‘lishi mumkin	Kommutatsiya samaradorligini belgilaydi
Tashuvchilar harakatchanligi	Interfeys va nuqsonlarga bog‘liq	Tok uzatish xususiyatini belgilaydi
Threshold kuchlanishi	Strukturaga bog‘liq o‘zgaradi	Tranzistorni ishga tushirish shartini belgilaydi

Ushbu natijalar shuni ko‘rsatadiki, MoS_2 asosidagi FETlarda kanalning eng optimal qalinligini tanlashda bir nechta parametrni birgalikda hisobga olish zarur. Xususan, yuqori gate nazorati talab qilinadigan qurilmalarda juda yupqa MoS_2 qatlamlaridan foydalanish maqsadga muvofiq bo‘lsa, yuqori tok uzatish xususiyatlari talab qilinadigan qurilmalarda qatlamlar sonini optimallashtirish muhim hisoblanadi.

XULOSA

2D MoS_2 asosidagi maydoniy tranzistorlarning elektr xususiyatlari kanal qalinligi va qatlamlar soniga sezilarli darajada bog‘liq ekanligi nazariy tahlil asosida ko‘rsatildi. MoS_2 kanalining qalinligi materialning elektron tuzilishi, taqiqlangan zona kengligi, gate orqali elektrostatik boshqarilishi, drain toki, threshold kuchlanishi va ON/OFF toki nisbatiga ta’sir qiladi.

Monoqatlamli MoS_2 da kanalning atomar yupqaligi sababli gate nazorati samarali amalga oshirilishi va yuqori ON/OFF nisbatiga erishish imkoniyati mavjud. Qatlamlar sonining ortishi bilan MoS_2 ning elektron xususiyatlari o‘zgarib, gate nazoratining samaradorligi nisbatan kamayishi mumkin. Shu bilan birga, qalinlikning ortishi zaryad tashuvchilar transporti va tok uzatish xususiyatlariga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Demak, 2D MoS_2 asosidagi FETlarni loyihalashda kanal qalinligini tanlash elektr parametrlar o‘rtasidagi optimal muvozanatni ta’minlashning muhim shartlaridan biridir. Ushbu natijalar yuqori samarali nanoelektron va analog qurilmalarni ishlab chiqishda MoS_2 kanalining strukturaviy parametrlarini optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Radisavljevic B., Radenovic A., Brivio J., Giacometti V., Kis A. Single-layer MoS_2 transistors // Nature Nanotechnology. — 2011. — Vol. 6. — P. 147–150. DOI: 10.1038/nnano.2010.279.

2. Wang Q. H., Kalantar-Zadeh K., Kis A., Coleman J. N., Strano M. S. Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides // Nature Nanotechnology. — 2012. — Vol. 7. — P. 699–712. DOI: 10.1038/nnano.2012.193.

3. Tong X., Ashalley E., Lin F., Li H., Wang Z. M. Advances in MoS_2-Based Field Effect Transistors (FETs) // Nano-Micro Letters. — 2015. — Vol. 7. — P. 203–218. DOI: 10.1007/s40820-015-0034-8.

4. Divya Bharathi N., Sivasankaran K. Research progress and challenges of two dimensional MoS_2 field effect transistors // Journal of Semiconductors. — 2018. — Vol. 39, № 10. — 104002. DOI: 10.1088/1674-4926/39/10/104002.

5. Material processing, performance and reliability of MoS_2 field effect transistor technology – A critical review // Materials Science in Semiconductor Processing. — 2023. — Vol. 160. — 107397. DOI: 10.1016/j.mssp.2023.107397.