MEMRISTOR XARAKTERISTIKASINI COMSOL MULTIPHYSICS VA MATLAB DASTURLARI UYG‘UNLIGIDA MODELLASHTIRISH

A.Abdikarimov, A.Hasanov - Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti

So‘nggi yillarda memristorlar yangi avlod xotira qurilmalari sifatida keng tadqiq qilinmoqda. Ularning asosiy afzalliklari — yuqori zichlik, tezkorlik, past energiya sarfi va moslashuvchanligi. Ushbu tezisda HfO_2 (gafniy dioksid) asosidagi memristor qurilmasi COMSOL Multiphysics va MATLAB dasturlarining LiveLink integratsiyasi orqali qanday modellashtirilishi ko‘rib o‘tiladi. Maqsad — HfO_2 asosidagi memristor qurilmasining raqamli modelini yaratish, unga termo-elektrik sharoitlar ostida SET va RESET jarayonlarini modellashtirish metodikasini ishlab chiqish, modellashtirish metodikasini bayon qilish va ba’zi natijalarni taqdim etishdir[1,2].

Model geometriyasini yaratish

Ushbu ishda termodinamika qonunlariga asoslangan holda memristor modelini yaratish ko‘zda tutilgan. Bunda birinchi navbatda COMSOL Multiphysics 6.2 dasturi memristorning alohida olingan SET, RESET, OFF va ON holatlari uchun turli statsionar va dinamik tenglamalarni yechishga yordam beradi. Memristor modelida SET jarayoni filamentning shakllanish jarayoni va RESET jarayoni esa uning buzilib, bo‘shliqning paydo bo‘lish qismini anglatadi. Bu jarayonlarni modellashtirish uchun esa COMSOL da ularning har bir holati modellashtiriladi, jumladan ON va OFF ham. Bu ishni u chekli elementlar usuli yordamida bajaradi. Buning uchun avvalo kerakli o‘lchamlarda qurilma strukturasi yasab olinadi. Har bir jarayonda strukturadan o‘zgarishlar bo‘ladi lekin yasash usuli umuman olganda bir xil. Kelib chiqishi mumkin bo‘lgan texnik muommolar va hisoblash vaqtini kamaytirish maqsadida COMSOL da geometriya 2D axisymmetric usulda yasaladi[3,4]. 1-rasmda ishlatilgan o‘lchamlar va strukturaning umumiy ko‘rinishi keltirilgan.

Model ishlashi uchun kiritilishi zarur bo‘lgan tenglamalar

Struktura yasalganidan keyin kerakli sohalarga materiallar kiritiladi (1-rasm), filament va bo‘shliq uchun o‘tkazuvchanlikni ifodalovchi qonuniyatlar COMSOL ning Definitions qismida kiritiladi. Volt-amper xarakteristikani chiqarish uchun avvalambor Electric Currents (1), Heat Transfer in Solids (2), Multiphysics (3) va Electrical circuit modullari kiritilishi va ular to‘g‘ri sozlanishi lozim[5,6]:

Electric Currents: $J = \sigma E$ (1)

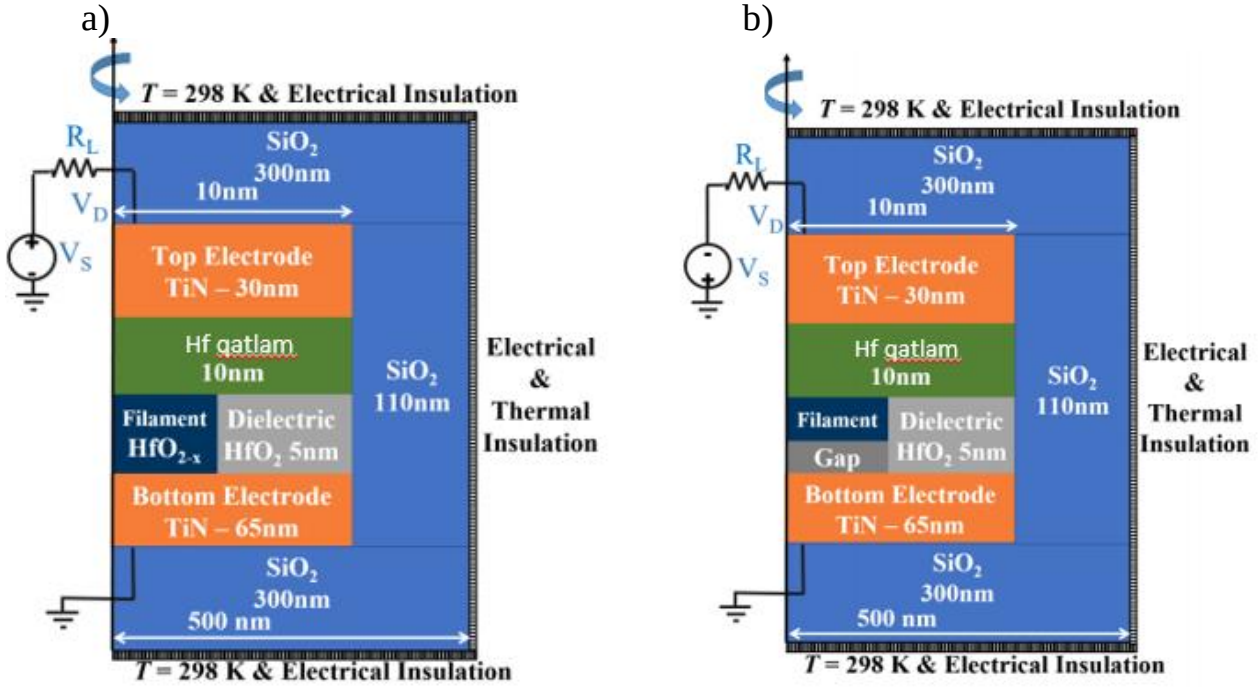
bu yerda J – tok zichligi (A/m^2), σ– elektr o‘tkazuvchanlik (S/m), E – elektr maydon kuchi (V/m).

Heat Transfer in Solids: $\rho C_p \frac{\delta T}{\delta t} = \nabla \cdot (k\nabla T) + Q$ (2)

bu yerda T– harorat (K), k– issiqlik o‘tkazuvchanlik ($W/m \cdot K$), ρ – zichlik (kg/m^3), C_p – issiqlik sig‘imi ($J/kg \cdot K$), Q – ichki issiqlik manbai (W/m^3).

Multiphysics: $Q = J.E$ (3)

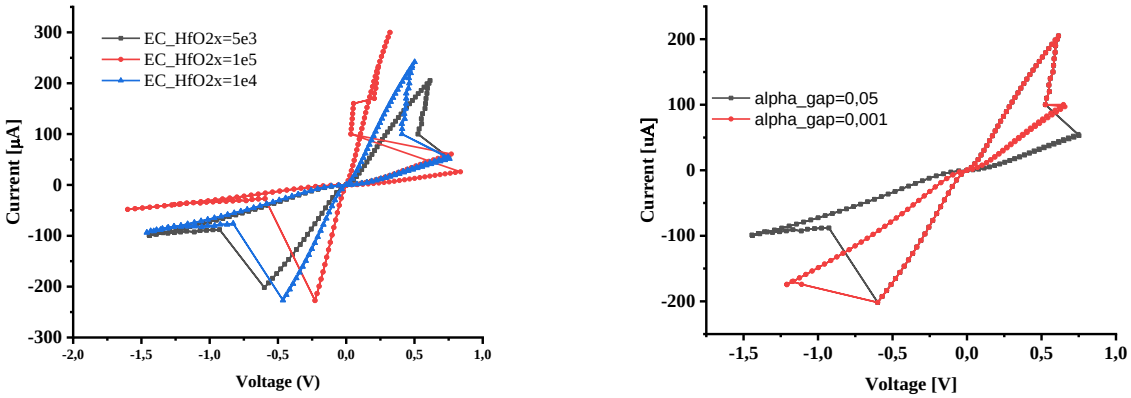
Yasalgan qurilma asosida zanjir tuzish uchun Electric circuit modulidan foydalaniladi. Bu yerda qarshilik va kuchlanish manbai memristorga ketma-ket ulanadi.Natijada qurilmaning elektr maydon va temperatura taqsimotlari hisoblanadi. Bu ish COMSOL da har bir SET, RESET, ON va OFF holatlar uchun qilinadi va ularn Matlab fayl sifatida saqlanib Matlab Livelink yordamida Matlab bilan integratsiya qilinadi. Matlab muhitida ushbu fayllar chaqiriladi va har bir modul Matlab scriptlari orqali boshqariladi. Qurilmaning minimal erkin energiyasi Matlabda hisoblanadi va SET va RESET lar uchun kerakli elektr toki diapazoni beriladi. Shunga ko'ra qurilma chegaraviy kuchlanishi, filament shakllanishi va buzilishi uchun mos qiymatlar Matlab muhitida topiladi va Volt-amper xarakteristika hisoblanadi.



1-rasm. Memristorning COMSOL da yasalgan strukturasi. a) SET va ON modulidagi b) RESET va OFF modulidagi struktura.

Natijalar. Qurilma parametrlari o'zgartirilib, uning Volt-amper xarakteristikaga ta'siri kuzatiladi. Masalan, filament materiali maksimal o'tkazuvchanligi qiymati o'zgartirilganda, volt-amper xarakteristikada sezilarli siljishlar paydo bo'ladi. Bunda uning qiymati ortishi bilan qarshilik miqdorini kamayishi kuzatiladi. Bu esa qurilmaning ON holatga o'tishini namoyon qiladi. Har bir yuqori o'tkazuvchanlik holatida tok tezroq oshishi, bu esa kuchlanishga nisbatan sezgirlikni ortishini bildiradi (2a-rasm). Bo'shliq sohasining o'tkazuvchanlik koeffitsienti pastroq bo'lganda esa OFF holatda (ya'ni filament uzilganida) tok qiymati ancha kichik bo'lib qoladi. Bu holat I–V xarakteristikasida aniq ko'rinadi - OFF holatdagi tok kuchi minimumga yaqinlashadi, bu esa qurilmaning yuqori qarshilik (OFF) holatini mustahkamlaydi. Aksincha, bo'shliq o'tkazuvchanligi ortganda, OFF holatda ham tok oqib turadi, bu esa ON va OFF holatlar o'rtasidagi farqni (read window) kamaytiradi. Natijada, qurilmaning ON/OFF farqliligi sustlashadi va aniq ishlashga salbiy ta'sir qilishi mumkin (2b-rasm).

a) b)



2-rasm. HfO_2 asosli memristorning a) filament maksimal o'tkazuvchanligi va b) bo'shliq koeffitsentining uning volt-amper xarakteristikasiga ta'siri

Xulosa. Ushbu ishda HfO_2 asosidagi memristor qurilmasining COMSOL-MATLAB integratsiyalashgan modellashtirish metodikasi ishlab chiqildi. Amaliy jihatdan SET/RESET holatlarini nazorat qilishda harorat, tok va elektr maydon taqsimotining tahlili muhim rol o'ynaydi [7,8]. Natijalar modellashtirish metodikasining ishlashini isbotlaydi va kelgusidagi eksperimental ishlarga asos bo'lishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. V.G.Karpov, D.Niraula, I.V.Karpov, and R.Kotlyar, "Thermodynamics of Phase Transitions and Bipolar Filamentary Switching in Resistive Random-Access Memory," Phys. Rev. Appl., 8, 024028 (2017).

2. V. Karpov, D. Niraula, and I. Karpov, "Thermodynamic analysis of conductive filament," Appl. Phys. Letts. 109, 093501 (2016).

3. V. G. Karpov and D. Niraula, "Resistive Switching in nanostructures," Scientific Reports, 8, 12212 (2018).

4. Dipesh Niraula and Victor Karpov, "Comprehensive numerical modeling of filamentary RRAM devices including voltage ramp-rate and cycle-to-cycle variations," J. Appl. Phys., 124, 174502 (2018).

5. D. Niraula and V. Karpov, "Comprehensive Numerical Modeling of Filamentary RRAM device," Proceeding of the 2018 COMSOL conference, Boston, MA, Oct 3-5, 2018.

6. D. Niraula and V. Karpov, "Numerical Modeling of Resistive Switching in a RRAM device," Proceeding of the 2017 COMSOL conference, Boston, MA, Oct 2017.[Best paper award].

7. Zhang, Z.; Wang, F.; Hu, K.; She, Y.; Song, S.; Song, Z.; Zhang, K. Improvement of Resistive Switching Performance in SulfurDoped HfOx-Based RRAM. Materials 2021, 14, 3330.

8. Chien, W.C.; Chen, Y.R.; Chen, Y.C.; Chuang, A.T.H.; Lee, F.M.; Lin, Y.Y.; Lai, E.K.; Shih, Y.H.; Hsieh, K.Y.; Lu, C.-Y. A formingfree WOx resistive memory using a novel self-aligned field enhancement feature with excellent reliability and scalability.