

Atomi folyamatok rezisztív kapcsolókban: fluktuációktól a reverzibilis atomi átrendeződésekig

Nyáry Anna

A rezisztív kapcsoláson alapuló memóriák (más néven memrisztorok) jelentős részében a két elektróda között egy nanoméretű fémvezeték, ún. filamentum alakul ki. A filamentum legkeskenyebb részének átmérője közel eshet az atomi méretskálához, így az atomi folyamatok fontos szerepet játszhatnak a memrisztorok működésében. Ezen atomi folyamatok vizsgálata adja kutatásom fő motivációját, kétféle megközelítést alkalmazva.

Egyrészt, bár a memrisztorok kapcsolását az aktív tartományban különböző folyamatok, pl.: elektrokémiai fémesezés (ECM) és vegyértékváltozáson alapuló mechanizmusok is vezérelhetik, alapvetően más fizikai folyamatok is okozhatnak reverzibilis atomi átrendeződéseket. Ilyen például a feszültségindukált atomi kapcsolás, amely jól ismert jelenség az atomi méretű tiszta fémvezetékekben, amelyekből hiányzik a memrisztorokra jellemző ionos befoglalómátrix. A kutatócsoportunk korábbi tanulmányai Ag_2S -alapú ECM-cellák atomi skálájú kapcsolásáról számoltak be, amelyek alapvetően különböznek a hagyományos memrisztoros kapcsolásoktól. Az atomi méretskálájú kapcsolás mint lehetséges jelenség kialakulása az atomi méretű ECM-típusú rezisztív kapcsoláson alapuló rendszerek szélesebb körében rávilágít arra, hogy az atomi folyamatok megfelelő jellemzése és megértése szükségszerű. Ezen megfontolások motiválták az ezüstvezetékben kialakuló tisztán atomi kapcsolás elidegeníthetetlen tulajdonságainak mélyreható vizsgálatát, valamint az alapvetően eltérő jellemzőkkel bíró ECM-típusú kapcsolás tulajdonságaival való összehasonlítást. Különös fontos az egyik vezetési állapotból a másikba való átmenet jellegzetes feszültségének, azaz a küszöbfeszültségeknek az összevetetése. A tiszta atomi kapcsolást célzó méréseket nagy tisztaságú, mechanikailag kontrollálható törőkontaktusos elrendezésben kialakított Ag mintákkal végeztem alacsony hőmérsékleten, referenciaként pedig egy AgI-alapú pásztázó alagútmikroszkópos pontkontaktusos rendszert használtam fel (Sánta Botond és Molnár Dániel mérései).

A tiszta atomi kapcsolás statisztikai elemzésében feltárt küszöbfeszültség enyhe frekvenciafüggésének és ciklusonkénti sztochasztikus jellegének leírására egy fononmódusok pumpálásán alapuló elméleti modellt javasoltam. A szimulációk és a kísérleti eredmények összehasonlítása konzisztens, kvantitatív egyezést mutatott.

Másrészt, a kapcsolásban részt vevő atomi átrendeződések mellett fontos megérteni az atomi szintű fluktuációkat is, mivel ezek fontos szerepet játszanak a vezetőképesség (ellenállás) zajának létrejöttében, amelyek az $1/f$ -típusú zaj forrását adják. Kutatásom során Ta_2O_5 -alapú keresztcsálas eszközöket vizsgáltam, amelyeknél $1/f$ -típusú zaj átfogó karakterizálásának eredményeképpen készült el az úgynevezett zajtérkép, - azaz az egyensúlyi állapotban mért relatív zaj vezetőképességfüggés - amellyel a relatív zaj jellegzetes vezetőképesség függése, illetve eszközök közötti hatalmas szórás leolvasható.

Az egyensúlyi állapotban mért atomi fluktuációk mellett a feszültség által indukált fluktuációk különösen fontosak a memrisztív eszközök alkalmazása szempontjából. Feszültségfüggő zajspektroszkópiai méréseket végeztem el, amelyek lehetővé teszik az $1/f$ -típusú zaj vizsgálatát a teljes rezisztív kapcsolás alatt. Méréseim során a jó reprodukálhatóságot mutató kapcsolások egyensúlyi zajának vizsgálata során jelentős ciklusonkénti varianciát mutattam ki. Emellett azonosítottam a nemegyensúlyi feszültségtartományt, amely még a kapcsolási küszöbérték alatt van, és amely változatlan vezetőképesség mellett képes irreverzibilis változást létrehozni az egyensúlyi állapot zajában. Az előbbi, nemegyensúlyi állapotban megfigyeltem egy prekursor jelenséget, amely előre jelzi a közelebbi rezisztív kapcsolást. A ciklusról-ciklusra végzett mérések következtetései alapján javasoltam egy egyensúlyi és nemegyensúlyi állapotú ciklusokból álló, küszöbfeszültség alatti zajmentesítési folyamatot, valamint részletesen vizsgáltam a növekvő amplitúdójú, küszöbfeszültség alatti ciklusok relatív zajra gyakorolt hatását. Az elvégzett kísérleteim jól demonstrálják zajtérkép mint megbízható viszonyítási alap alkalmazhatóságát a többszintű programozás zajkorlátos felbontására.