



## Bírálat

Török Tímea Nóra

“Development and investigation of ultra-small on-chip resistive switching memory devices”  
című PhD értekezéséről

Török Tímea Nóra PhD-disszertációjában új memrisztív eszközök kialakításán, valamint memrisztív eszközök kapcsolási viselkedésének fizikai mechanizmusainak feltárásán dolgozott. Ezen túlmenően a memrisztív eszközök orvostudományi alkalmazását is megcélolta hallást segítő eszközökben. Eredményeit öt tézispontban foglalta össze, amelyeket hat darab tudományos publikáció támaszt alá.

Az irodalmi áttekintés megfelelő bevezetőt nyújt a saját eredmények tárgyalásához. Rövid bevezetőt követően a saját eredmények négy fejezetben kerülnek bemutatásra. A harmadik fejezetben a jelölt a mintapreparációban végzett munkáját mutatja be.

- Tárgyalja a grafén / SiO<sub>x</sub> / grafén, Pt / SiO<sub>x</sub> / Pt eszközök kialakítását és I(V) karakterizációját.
- OxRAM eszközök előállítását és karakterizációját, hangsúlyt fektetve a stabilitás vizsgálatára.
- Majd az OxRAM eszközök potenciális alkalmazását tárgyalja neurális jelek detektálására.

A negyedik fejezetben:

- Tárgyalja a grafén / SiO<sub>x</sub> / grafén kapcsolási karakterisztikáját és statisztikai módszerekkel megállapítja, hogy a "set time" eloszlást Arrhenius típusú nukleációs folyamatok uralják, amelyeknek az energiagátja időbeli változást mutat. Hasonló eloszlást tapasztalt Pt / SiO<sub>x</sub> / Pt eszközök esetében is.
- Megmutatta, hogy a grafén / SiO<sub>x</sub> / grafén eszközök kikapcsolt állapotának az ellenállása hangolható kb egy nagyságrendet a "reset" feszültség változtatása által.

Az ötödik fejezetben:

- Többszörös Andreev-reflexiókat kihasználva vizsgálta a nyitott vezetési csatornák számát és transzmisszióját szupravezető/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/szupravezető és szupravezető-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/szupravezető eszközök esetében. Méréseit olyan referencia mintákkal hasonlította össze, amelyeket Ta és Nb break junction eszközökön végzett.
- A Nb eszközök esetében a viselkedés hasonló Nb atomi láncok vezetéséhez, míg a Ta alapú eszközök viselkedése összeegyeztethető oxigén migráció által kiváltott ellenállásváltozással.

Az utolsó fejezetben bemutatásra kerül, hogy a jelölt részt vett egy VO<sub>2</sub> oszcillátorokon alapuló hallásérzékelő fejlesztésében, amely a memrisztív elemeknek köszönhetően a hallóideghez hasonló impulzusokat tud generálni.

A jelölt számos eredményt ért el, ezek közül több esetben is széleskörű együttműködés keretében végezte a kísérleteket. Ez abban is megmutatkozik, hogy hat cikket használt fel a tézispontok megfogalmazásakor. A disszertációban részletesen le van írva a jelölt hozzájárulása a különböző munkafolyamatokhoz (minden egyes helyen jelölve), azonban első olvasásra ezek nehezen követhetők. Szerencsére a jelölt hozzájárulása a teljes munkához a tézispontok alapján jól követhető. Azonban a dolgozat írása során szerencsésebb lett volna, ha a disszertáció saját eredményeket tárgyaló fejezeteiben elsősorban a saját eredményekre koncentrálna. Egy példa erre a 3.3.3 fejezet, ahol a jelölt által előállított VO<sub>2</sub> eszközök Sebastian Werner Schmid által mért zaj karakterizációját tárgyalja. Ez és az ehhez hasonló fejezetek szerintem csak megtörik a mondanivalót és a disszertáció érvelési struktúráját. A mások által elért, de az érvelés szempontjából fontos, eredményeket sok esetben néhány jól megfogalmazott mondatban össze lehetett volna foglalni.

Véleményem szerint néhány esetben amikor konkrét tudományos állítást tesz, túl bátran fogalmaz, például a 48. oldalon Nb eszközök esetében ezt írja: "To summarize my experiences, Nb can indeed be present in the active region of line-type Nb/SiO<sub>x</sub> samples". Ehelyett én úgy fogalmaztam volna, hogy: The



behavior Nb/SiOx samples is consistent with the presence of Nb in the junction area, similarly to NbOx systems.

Hasonlóan a 4. tézispontban: "... the switching is governed by the redistribution of oxygen vacancies or tantalum cations within the filamentary volume, and the reset process results in the formation of an extended barrier at the bottleneck of the filament, which reduces the transmission of the highly open conduction channels.". Ehelyett szerencsésebb lett volna egy olyan megfogalmazás, amely csak valószínűsíti az oxigén migráció szerepét, mivel direkt információnk nincs az eszköz aktív részében lezajló atomi folyamatokról.

Az olvasást és megértést jelentősen javította volna egy rövidítés jegyzék a dolgozatban.

### Megjegyzések és kérdések:

1. Nem vagyok szakértője a területnek, de talán egy alap cikket nem sikerült hivatkozni grafén - grafén eszközök esetében: Standley, B. *et al.* Graphene-based atomic-scale switches. *Nano Lett.* **8**, 3345–3349 (2008) (több mint 400 hivatkozás)
2. A 3.17 ábrán a jelölt összehasonlítja termikus módszerrel, illetve ALD és PVD eljárással kialakított VO<sub>2</sub> eszközök ellenállását a hőmérséklet függvényében. A b, c, és d paneleken látható SEM képeken a kontaktusok közötti távolság nem tűnik azonosnak a mellékelt SEM felvételek alapján. Mi volt a nanorés (kontaktusok közötti távolság) a zöld, fekete és kék görbék esetében? Hogyan változik a hőmérsékleti karakterisztika, eszköztől eszközt? Azaz, mennyi a szórás, ugyanolyan módszerrel és paraméterekkel előállított eszközök között?
3. Nem értem, hogy miért szükséges jelen disszertációban újra tárgyalni a Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> eszközökön végzett zajvizsgálatokat, hiszen a jelöltnek bőven van új tudományos eredménye. Ezeket Sánta Botond PhD-dolgozatában már részletesen elemezték, amint a jelölt fel is hívja erre a figyelmet. A 3.14a ábra adatai megegyeznek a Sánta Botond disszertációjában a 4.16 ábra adataival.
4. A 3.14a ábra adataival kapcsolatban a jelölt a következőt állítja: "data in Figure 3.14 are well fitted with the formulas obtained, as illustrated by the red/blue dashed lines". Ránézésre, egyetlen egyenest is lehetne erre fittelni és hasonló lenne a fitt hiba. Mi alapján került megválasztásra a kék és piros fitt között a fittelési határ?
5. A 3.20 ábrán mi a jelentése a kék áttetsző tartománynak?
6. A Pt/SiOx/Pt vagy grafén/SiOx/grafén eszközök kapcsolási statisztikája, főleg a „korrelációs paraméter”:  $n_{corr}$  mennyire változik azonos módon készített eszközök között?
7. A 4.4 ábrán látható hangolása az  $R_{off}$  állapotnak Pt/SiOx/Pt eszközök esetében is lehetséges?
8. A jelölt a Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> eszközöket vizsgálta szobahőmérsékleten és alacsony hőmérsékleten is. Alacsony hőmérsékleten szupravezető "subgap" mérések segítségével jellemezte az eszközt.
  - a. Hány Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mintára volt hasonló az 1.3 K és 300 K-es I(V) görbe (lásd 3.15 ábra)?
  - b. Ez az eredmény nagyon meglepő és szerintem magyarázatra szorul. Például a fonon szórás gyakoriság csökken a hőmérséklettel, töltéshordozó lokalizációs folyamatok is erősen hőmérsékletfüggők. Ebből azt várnám, hogy a minta ellenállása, a memrisztív viselkedéshez vezető folyamatoktól függetlenül erősen változzon. Mivel magyarázható, hogy a 3.15c és d ábrákon az I(V) görbék dőlése vagyis az ellenállás gyakorlatilag ugyanaz.
9. Az 5.6c ábrán a tiszta Ta break junction mérés esetén látszik egy csúcs 0 feszültség körül. Ez Cooper pár alagutazásnak felel meg? A tiszta Nb break junction-on miért nem látszik ez?

Összefoglalásképpen megállapítom, hogy a tézispontok jól megalapozottak és ezeket elfogadom új tudományos eredményként. A jelölt által elért új tudományos eredmények, a disszertáció, valamint a



jelölt publikációi egyaránt megfelelnek a PhD fokozatszerzés követelményeinek. Javaslom a dolgozat nyilvános vitára bocsátását. Amennyiben a kérdéseimre kielégítő válaszok érkeznek, úgy a doktori disszertációra a „summa cum laude” minősítést javaslom.

Nemes-Incze Péter

HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

2024. 04. 22  
Budapest