

## **Bírálóí vélemény**

***Serényi Miklós „A katódporlasztás lehetőségei az optoelektronikában” című***

### **doktori értekezéséről**

Az értekezés katódporlasztással előállított, különböző rendeltetésű vékonyrétegeket mutat be. Jelölt munkájában hangsúlyos szerepet kap a szilícium-oxinitrid vékonyrétegeknek, illetve vékonyréteg-szerkezeteknek az előállítása. Ez a dielektrikum a különböző opto-elektronikai eszközök alapanyagának tekinthető, például, ideális hullámvezető anyag: összetétele, törésmutatója rugalmasan változtatható, a fényvesztés kicsi. Az értekezés másik kiemelendő része a hidrogént tartalmazó amorf szilícium-germánium réteg előállítását ismertető munka. Ennek célja Schottky-dióda alapjául szolgáló réteg, majd napelemek céljaira alkalmas réteg, illetve multiréteg előállítása. Jelölt vonatkozó munkásságának a fontosságát - példaként - két, nagy piaccal bíró terület sikereivel érzékeltetem. Jellemzően az ezredforduló óta a kereskedelmi technológiákban a korábbi napelemekben alkalmazott tömbi szerkezetet felváltotta a sokkal kevesebb anyagot igénylő vékonyréteg-technológia, amellyel megkívánt optikai, elektromos és mechanikai sajátságokkal rendelkező vékonyrétegek, vékonyréteg-szerkezetek állíthatók elő tervezhetően és ellenőrizhetően. Másik, ugyancsak nagy üzleti sikert felmutató technológia a folyadék-kristályos megjelenítők köre, ami az értekezés szempontjából azért érdekes, mert a TFT-panelre integrált fekete mátrixnak más szempontok mellett nagy optikai sűrűségű és elektromos ellenállású anyagból kell felépülnie. E tulajdonságokkal viszont hidrogént tartalmazó amorf szilícium-germánium vékonyréteg ténylegesen rendelkezik. Ezek az önkényesen kiemelt területek is jelzik, hogy Jelölt értekezésében izgalmas kérdéseket feszeget.

Az értekezés össz-terjedelme 73 oldal, ebből a tudományos tevékenységet bemutató rész 54 oldalt tesz ki (az Összefoglalás c. fejezet nélkül). A 2. fejezetben 6 oldalon át ismerteti Jelölt a SiN réteg leválasztásának folyamatát antireflexiós réteg céljaira (11 %). A 3. fejezet amorf szilícium és szilícium oxinitrid vékonyrétegek előállításával, vizsgálatával és alkalmazási lehetőségeivel foglalkozik (10 oldal, 19 %). Jelölt a 4. fejezetben írja le a hidrogént tartalmazó amorf SiGe-réteg leválasztásának módját és potenciális felhasználását Schottky-dióda és napelemek alapanyagaként (10 oldal; 19 %). Az 5. fejezet a-SiGe:H multirétegek előállításával, vizsgálatával foglalkozik, amit kiegészít a diffúzió és a hidrogén szerepének az értelmezése ezekben a multirétegekben (13 oldal; 24 %). A 6. fejezet címe „Az antireflexiós réteg in-situ kontrollja” (4 oldal; 7 %). Jelölt a kutatásait ismertető rész utolsó fejezetében taglalja, hogyan generálhatók rövid impulzusok lézerdíódával (6 oldal; 11 %).

A hivatkozott közlemények száma 94. Ezek zömükben Jelölt kijelentéseit, megállapításait támasztják alá. Ilyen pl. napelem tárgykörben az a kijelentés, mi szerint az abszorpciós profil relatív helyzete a Ge-tartalomtól függ. Tekintettel azonban arra, hogy a munka célja rétegek, multirétegek előállítása RF reaktív porlasztással, célszerű lett volna az idézetnél több, hasonló célú közleményre is hivatkozni és ezeknek alapján az általa előállított rétegek sajátságait összevetni egybeeső, vagy más technológiák - pl. plazmával elősegített kémiai gőzfázisú leválasztás - termékeinek jellemzőivel.

Az ábrák kivitelezése jó, a hozzájuk fűzött magyarázatok érthetőek. Mindazonáltal van néhány ábra, amelynek értelmezése a szűkebb szakmát nem művelő olvasó (opponens) számára bizonytalan. Ilyenek jellemzően a TEM-felvételek. Példaként a 3.3. ábra, amelyen a

hullámosodásnak a szövegben pontosan megadott számszerű értékeit bizony nehéz felismerni. A dolgozat nyelvezete jó, érthető; az elterjedten használt, stílusromboló „történik” ige kevésszer fordul elő. Most is megjegyzem azonban, hogy teljességgel indokolatlan széles körben is jól ismert magyar szakkifejezések után zárójelben megadni annak angol megfelelőjét.

A tézisek szerkezete, felépítése meglehetősen egyedi. Szokatlanul hosszúak; pl. a 4. tézis 22 soros. Valamennyi sok, az új tudományos eredmény értékelhetősége szempontjából nem feltétlenül ide illő számadatot tartalmaz (pl. hőmérséklet, rétegvastagság, parciális nyomások aránya stb.). Többes szám első személy használata szintén nem jellemző tézisek szövegezésénél.

Visszatérve a dolgozat egészéhez sajnálattal kell megállapítanom, hogy a 2., 6. és a 7. fejezet szinte teljesen megegyezik Jelölt kandidátusi értekezésének fejezeteivel. Ennélfogva a felidézett eredmények nem a kandidátusi fokozat odaítélését követő időszakban születtek, így a Doktori Szabályzat szerint nem vehetők figyelembe. Ennek megfelelően e három fejezetet nem értékelem.

### ***Kérdéseim:***

1. Vizsgálta-e Jelölt a kialakított rétegek reprodukálhatóságát, az összetétel, a szerkezet és a fizikai sajátságok szabályozhatóságát, illetve kialakított-e ezeket tükröző elvi/gyakorlati megfontolásokat?

2. Jelölt a reaktív porlasztási technológia ismertetésekor megjegyzi, hogy a fizikai körülmények fontosak megkívánt összetételű vékonyréteg előállításakor és ezért – miután ezek nem kellő mértékben tisztáztak – „az adott rendszerre gondosan ki kell kísérletezni a kritikus beáramlási sebességet, illetve az Ar és a reaktív gáz parciális nyomásának viszonyát”. Ennek megfelelően járt el a vékony-réteg porlasztási kísérleteiben is.

Kérdésem: felhasználhatóak lennének-e a Berg és munkatársai által a reaktív porlasztás fizikai folyamataira kidolgozott modellek Jelölt által alkalmazott technológiákban? Más szóval, nem lehetne-e e modellek alapján elméletileg kialakítani az optimális kísérleti feltételeket próbálkozások helyett?

3. Kérem, vesse össze az alkalmazott porlasztási technológiával leválasztott vékonyrétegek sajátságait más technológia vonatkozó eredményeivel (pl. lézer-abláció, vagy plazmával elősegített kémiai gőzfázisú leválasztás mint a talán legelterjedtebb, standard technológia stb.)

4. Hogyan befolyásolja a SiON vékonyréteg összetételét (az oxigén és a nitrogén atomok arányát) a target anyaga, a nitrogén, oxigén parciális nyomása, az össz-nyomás, az oxigén, nitrogén, argon gáz beáramlási sebessége, a plazmaösszetétel, az RF-teljesítmény? Milyen összetételű SiON vékonyréteg jött létre az értekezésben megadott paraméterek mellett? Milyen szempontok alapján döntött mellettük?

5. Jelölt adalékolt targetból porlasztott rétegszerkezet határfelületeinek jobb minőségét a targetból származó foszforatomok beépülésével, a reaktív gázból származó oxigén, illetve nitrogén atomok beépülésével és az ezt követő diffúziós folyamatokkal valószínűsíti. Tudna-e Jelölt valamilyen mértékig kvantitatív magyarázatot adni minderre az idézett munkákban fellelhető diffúziós modellek alapján, továbbá pl. az Si-O, vagy az Si-N kötések, továbbá az SiON-formáló reakciók energetikájának figyelembe vételével?

6. Az a-Si/Ge:H multiréteg előállításával kapcsolatos kérdéseim az alábbiak:

- Ugyanolyan törvényszerűség szerint megy-e végbe a hidrogén beépülése germániumba, mint szilíciumba? Megegyezik-e a germániumba beépült hidrogén százalékos aránya a szilíciumba beépültével az a-Si/Ge multirétegek előállítása során, tekintettel arra, hogy Ge-réteg kétszer akkora sebességgel nő, mint a Si-réteg és vastagságuk megegyezik?
- Ha a ténylegesen beépült hidrogéntartalom a H<sub>2</sub>-áram függvényében 0,8 ml/perc áram után erősen telítődő jelleget mutat (4.9. ábra), mi indokolja a markáns különbséget az 5.5. ábra két mintája között, hiszen mindkettő a telített tartományhoz tartozik? (A többi adat egyezik.)
- Összhangban van-e Jelölt állítása, mi szerint „a rétegek porlasztása folyamán szinte tetszőleges mennyiségű hidrogén építhető be az a-Si/Ge szerkezetbe...” a 4.9. ábra H-telítődést tükröző mondandójával?
- „A magas H-tartalom vagy a magas hőkezelési hőmérséklet hatására a multiréteg hidrogéntartalma felszabadul...” (Feltételezem, hogy együttes hatás is elképzelhető). Nem lett volna meggyőzőbb, ha az 5.7. ábrák mintáin csak egyetlen paraméter változott volna? Mi indokolja, hogy nem így van?
- Foglalta össze, mire használhatók a 4. és 5. tézisben megfogalmazott eredmények (porlasztási technológia módosítása, jobb szerkezeti adottságokkal bíró multiréteg kialakítása, a multirétegben végbemenő fizikai-kémiai folyamatok jobb megértése stb.).

## Összefoglalás

A 2., 6. és a 7. fejezetekben ismertetett munka a kandidátusi fokozat megszerzésének alapját képezte, így azok az eredmények a Doktori Szabályzat szerint itt nem vehetők figyelembe. Az 1., a 6. és a 7. tézis a kandidátusi fokozat téziseinek felel meg; ezért ezeket nem tekinthetem értékelhetőeknek.

A doktori értekezés többi részében ismertetett kutatás alapján megállapítható, hogy Jelölt hatékony RF reaktív porlasztási technológiát fejlesztett ki és alkalmazott szilícium-oxinitrid, és hidrogént tartalmazó amorf Si/Ge réteg és multiréteg előállítására. A mérési eredmények alapján használható következtetéseket vont le a réteg/ek sajátosságaira, a bennük lejátszódó fizikai folyamatokra nézve.

A 2., 3., 4. és az 5. tézispontban megfogalmazottakat Jelölt új tudományos eredményeinek ismerem el; a tézispontokat elfogadom, amennyiben Jelölt kielégítő választ ad a fentiekben megfogalmazott, a tézispontokat érintő kérdéseimre.

Javaslom a nyilvános vita kitűzését a fentieknek megfelelően.

Budapest, 2011. február 20.

Dr. Füzesy Zoltán  
a műszaki tudomány doktora