

## Válasz Dr. Richter Péter Bírálatára

Először is köszönöm Opponensemnek, Dr. Richter Péter Professor Úrnak, hogy elvállalta értekezésem bírálatát. Köszönöm a véleményében leírt elismerő és kritikai megjegyzéseit, a téma aktualitását méltató szavait, valamint a dolgozatom bírálati során tett értékes észrevételeit, az egyes tézisekre vonatkozó kérdéseit és javaslatait.

A Tisztelt Bíró a 10 tézisből 9-et új tudományos eredményként ismer el. Kivétel az 1.2 számú tézis, amit jellegénél fogva nem tekint új tudományos eredménynek.

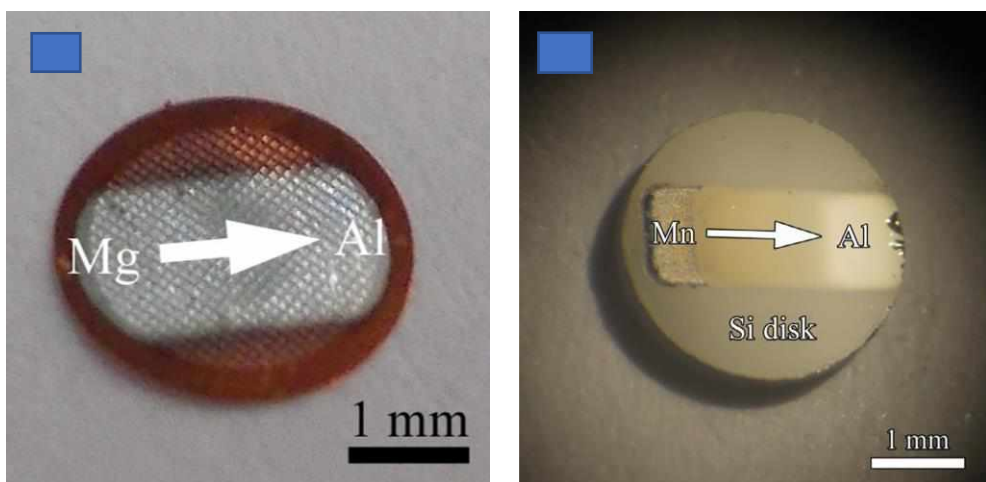
Szeretném megjegyezni, hogy a tézis lényege a TEM lamellák, ill. MEMS minták fókuszált ionsugaras (FIB) megmunkálásánál alkalmazható szabadalmazott műszaki megoldás, egy új elven működő, a korábbiaknál előnyösebb mintabefogó ötlete és megvalósítása. Valóban, nem valamilyen vizsgálati módszerről, hanem új eszközzel van szó. Mint kutatást szolgáló eszköznek, azonban fontos szerepe van tudományos vizsgálatok elvégzésében, és mikro-ill. nanoméretű szerkezetek előállításában. Véleményem szerint a megalkotása és alkalmazása hozzájárul új tudományos eredmények eléréséhez, ami alapján indokolt lehet tézisként való elfogadása.

Válaszok Bíró kérdéseire:

### 1.) kérdés (1.3 tézishez)

*Milyen felbontásban végezhetőek a mérések, és ez milyen koncentrációfelbontást eredményez?*

A mérés felbontását a kombinatorikus minta tulajdonságai és a mérőeszköz felbontása határozza meg. A mikrokombinatorikus módszer eredetileg TEM vizsgálat céljára lett kifejlesztve, a minta 3 mm átmérőjű mikrostélyra, lett növesztve, ill. ugyanekkor Si korongra pl. Auger elektronspektrometriás (AES), SEM, ill. AFM mérésekre, ahogy az 1. ábra mutatja.



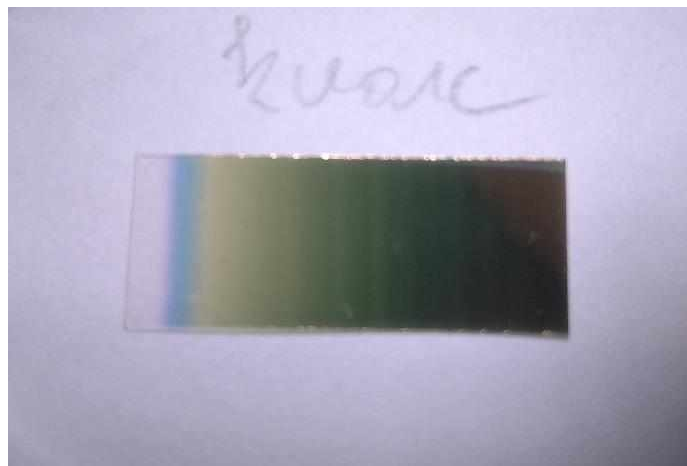
1. ábra. Kétkomponensű Mg-Al ill. Mn-Al mikrokombinatorikus minták TEM rácson és Si korongon. A nyíl a változó összetételű (gradiens) szakaszt jelöli. A koncentrációgradiens tipikusan 0.083 %/ $\mu\text{m}$  – 0.067 %/ $\mu\text{m}$  közötti mértékű.

A TEM rostélyon belül a gradiens szakasz hossza célszerűen 1.2mm ~ 1.5mm között választható. A teljes 0-100% összetétel-változásra számítva ez 0.083 %/ $\mu\text{m}$  – 0.067 %/ $\mu\text{m}$  közötti laterális koncentráció gradienst jelent, ami a mai elektronmikroszkópok (TEM, ill. STEM) akár atomi rácsfelbontása mellett nagyon előnyösen vizsgálható. Pásztázó AES vizsgálatokra is alkalmas lehet ez a méret, de nanoindentációs- ellipszometriás- XRD mérésekre már nagyobb mintaméret szükséges.

A fenti koncentráció-gradiensek a teljes 0-100% összetétel-változást átfogó mintákra vonatkoznak. Igény szerint a 0-100% helyett kiválaszthatunk valamilyen kisebb összetételváltozást lefedő pl. 10%-os koncentrációtartományt, részletesebb vizsgálatra, és rétegnövesztéskor azt terítjük ki a kombinatorikus minta teljes hossza mentén. Ebben az esetben a fenti gradiens, ill. koncentráció különbség értékek 1/10 -részükre csökkennek, és a kiválasztott tartomány egy nagyságrenddel jobb koncentráció-felbontásban vizsgálható.

A minta laterális koncentráció tartománya ill. felbontása tehát igény szerint megválasztható a számítógépes vezérlésű magnetronos porlasztórendszer rétegnövesztési paramétereinek beállításával.

A TEM-en túl minden egyéb analitikai mérés (XRD, SEM, AES, ERDA, RBS, ellipszometria, nanoindentáció) céljára 25 mm hosszú hordozólapkát (lásd 2. ábra) használunk és azon belül jellemzően 20 mm-es a gradiens szakaszt. Ennél a mintánál - 100% összetételváltozás esetén - a koncentrációgradiens  $100\%/20000 \mu\text{m} = 0.005 \%/ \mu\text{m}$ . A spektroszkópiai ellipszometriás méréseknél pl. a megvilágító nyaláb tipikusan 300  $\mu\text{m}$  szélességével számolva a mérés laterális felbontása:  $300 \mu\text{m} \times 0.005 \%/ \mu\text{m} = 1.5 \%$ .



2. ábra. 25 mm hosszú kvarc hordozólapkára növesztett 0-25 nm között változó vastagságú Au réteg, amely hangolható plazmonikus bioszenzor ellipszometriás tesztmérése céljára készült.

## 2.) kérdés (2.2 tézishez)

*A javasolt kapcsoló konstrukció csak a detektorok minősítéséhez használható, vagy a detektorrendszerben is alkalmazható?*

A szupravezető Ti-kapcsoló több vékonyréteg minta szupravezető fázisátmeneti görbéjének időosztásos (multiplex) mérésére, tesztelésére lett kifejlesztve, arra az esetre, amikor sok mérendő mintánk van, de a mérésre csak egyetlen SQUID mérőkör áll rendelkezésünkre.

Elvben a kapcsoló felhasználható lehet több komplett WIMP detektor időosztásos működtetéséhez is. Ugyanakkor a gyengén kölcsönható részecske kis valószínűségű kölcsönhatásának (ütközés), vagyis a detektálásának esélyét a lehető legtöbb (és legnagyobb térfogatú) detektor egyidejű működtetésével növelhetjük. „Éles” méréshez emiatt nem célszerű a kapcsolót használni, mert akkor egyidejűleg csak egy detektor üzemelne, és csökkenne a részecske detektálás amúgy sem nagy esélye.

Itt jegyzem meg, hogy a mai csúcs WIMP kutatási program a „XENON” több tonnányi cseppfolyós nemesgázt -xenont- használ abszorbernek, és az abban kiváltott scintillációt detektálják. Ehhez képest a mi 1997-98-ban használt 260 g tömegű zafír abszorberünk eltörpül.

### **3.) kérdés (3.1 tézishez)**

*Milyen a mérések térbeli felbontása, és ennek megfelelően milyen a mért adatok pontossága? Az  $Mn_xAl_{1-x}$  vékonyréteg paraméterei mennyire függenek a felviteli technikától?*

A tézisben szereplő  $Mn_xAl_{1-x}$  vékonyréteg 3 mm-es TEM rostélyra készült. A TEM felbontása kivitelről ill. készülék generációról függően 1 nm - 1pm, így nem ez, hanem maga a minta korlátozza a mérés felbontását. A minta változó összetételű szakaszának hossza 1.5 mm=1500  $\mu$ m volt, így a koncentráció gradiens: 100 % / 1500  $\mu$ m = 0.067 %/  $\mu$ m volt. Az EDS összetétel-mérésnél a mintát megvilágító nyaláb jellemző átmérője 5  $\mu$ m volt. Ebből következik, hogy a megvilágított terület két oldala közti koncentrációkülönbség, vagyis a koncentráció mérés pontossága:  $s = 0.067 \text{ \%} / \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m} = 0.33 \text{ at \%}$ .

A DC magnetronos porlasztás jól szabályozható fizikai gőzfázisú (PVD) leválasztási technika vékonyrétegek előállítására. A rétegnövekedési sebesség a forrás teljesítményével szabályozható, esetünkben 0 és 1 nm/s között. Ez teszi lehetővé a precízen, tervezetten, konstans gradienssel változó összetételű minta előállítását is. Mind az Al, mind a Mn érzékenyek az oxigén jelenlétére a maradékgázban, ezért fontos a lehető legnagyobb sebesség beállítása rétegnövesztés alatt, mert úgy a felületre beérkező fém atom/ oxigén arány kedvezőbb, és kevesebb oxigén épül be.

Rétegelőállításnál lényeges paraméter a hordozóhőmérséklet. Habár lehetne emelt hőmérsékleten is előállítani a mikrokombinatorikus mintákat, célszerűen azonban tipikusan szobahőmérsékleten növesztjük és ha szükséges, utólag hőkezeltük. Ez így történt az Al-Mn rétegeknél is. A fő ok, hogy TEM célra vékony, összefüggő, átvilágítható rétegre van szükségünk, ami szobahőmérsékleten a nagyobb magképződési sűrűség miatt már 20~30 nm-es vastagságnál előáll, míg néhány száz °C-on a jellemzően kisebb magképződési sűrűség miatt csak már átvilágíthatatlan vastagságoknál -akár több száz nm - válna összefüggővé a réteg.

További lényeges körülmény, amelyet figyelembe vettünk a minikészítésnél, hogy míg az Al-oxid tömör és levegőn is megvéd a további oxidációtól, addig a Mn oxidációja nem áll le. Ezért a Mn-Al mintát elkészülte után amorf Si-oxid védőréteggel láttuk el, ami véd az oxidációtól, ugyanakkor a TEM vizsgálatnál nem zavaró.

### **4.) kérdés (3.3.2 tézishez)**

*Az  $a-Si_{1-x}Ge_x$  H vékonyrétegek mért optikai paramétereinek spektrális felbontása mekkora?*

A minta optikai paramétereinek spektrális felbontását a mérőeszköz – az ellipszométer jellemzői határozzák meg. Esetünkben a mérőeszköz Woollam M-2000DI forgó kompenzátoros spektroszkópai ellipszométer volt, a hullámhossz tartománya: 193-1690 nm (fotonenergia: 0.7-6.5 eV).

1. Táblázat: Woollam M-2000xx forgó kompenzátoros spektroszkópai ellipszométer változatok technikai jellemzői

### Specifications

Wavelength Range:		Angle Range:	
M2000V	370-1000nm, 390 wavelengths	Fixed Angle	65°
M2000VI	370-1690nm, 580 wavelengths	Horz. Auto Angle	45° - 90°
M2000U	245-1000nm, 470 wavelengths	Vert. Auto Angle	20° - 90°
M2000UI	245-1690nm, 660 wavelengths		
M2000X-210	210-1000nm, 485 wavelengths		
M2000XI-210	210-1690nm, 675 wavelengths		
M2000D	193-1000nm, 500 wavelengths		
M2000DI	193-1690nm, 690 wavelengths		

System Overview:	Data Acquisition Rate:
Patented rotating compensator ellipsometry, simultaneous CCD detection of all wavelengths, flexible system integration	Data collected 20 times per second. For optimal signal-to-noise, typical measurement times for full spectrum is between 0.5 and 5 seconds.

A spektrális felbontás kiolvasható az 1. sz. táblázatból. A benne felsorolt ellipszométer változatok közül a legszélesebb hullámhossz-tartományú készülékkel „M2000DI” végeztük a méréseket a 193-1690 nm tartományban, amelyet a vonalmenti detektorsor 690 db diódája mért, amiből a felbontás:  $(1690-193)/690 = 2.17 \text{ nm}$ .

A spektrális felbontás tehát **2 - 3 nm** (<0.01 eV) között van a teljes fenti hullámhossz- ill. fotonenergia tartományban.

Még egyszer köszönöm Dr. Richter Péternek a dolgozatom pozitív értékelését, mind pedig a bírálatban feltett kérdéseit, megjegyzéseit, melyek lehetővé tették több fontos összefüggés, megállapítás és információ ismételt végiggondolását, tisztázását és pontosítását.

Kérem, hogy az opponensi véleményére adott válaszaimat elfogadni szíveskedjék!

Budapest 2022 április 12.

Sáfán György