

# Makyoh-topográfia: egyszerű és hatékony eljárás félvezető szeletek simaságának vizsgálatára

RIESZ FERENC, LUKÁCS ISTVÁN ENDRE, SZABÓ JÁNOS, MAKAI JÁNOS,  
PÓDÖR BÁLINT, RÉTI ISTVÁN, SZENTPÁLI BÉLA, EÖRDÖGH IMRE

MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet  
riesz@mfa.kfki.hu

LACZIK ZSOLT

Department of Physics, University of Oxford

Lektorált

**Kulcsszavak:** félvezető-technológia, felületi simaság, optikai metrológia

A cikk egy ősi elvű optikai vizsgálati eljárás, a Makyoh-topográfia területén az Intézetünkben végzett kutatásokat ismerteti. Az ismertetett módszer félvezető szeletek és más tükörjellegű felületek simaságának kvalitatív és korlátozott kvantitatív vizsgálatára alkalmas.

## 1. Bevezetés

A félvezető eszközök alapanyagául hibamentes, lehetőleg tökéletesen sík egykristály szelet szolgál. A szeletek felületének síktól való eltérése meggátolhatja a további megmunkálás egyes lépéseit, vagy rontja az adott megmunkálási folyamat paramétereit. Ezért mind a szeletgyártók, mind a felhasználók részéről jelentős érdeklődés mutatkozik olyan érintésmentes, nagy pontosságú, tiszta és gyors módszerek iránt, amelyekkel a kiinduló szeletek geometriai, topográfiai hibái minél előbb – akár már a felhasználás előtt – kimutathatóak.

A felület síkságának mérésére számos módszer használatos. Tapintótűs eljárással a felületi domborzat nagy pontossággal mérhető, de a módszer lassú, mechanikai mozgatást igényel és a túl a felület károsodását is okozhatja. Az érintésmentesség igényét az optikai módszerek [1] elégítik ki, ilyenek a lézeres pásztázás és a különféle topografikus – főként interferometrikus – eljárások. A nagy méretű vizsgált felületek esetében ezek a mérések nehezen valósíthatók meg.

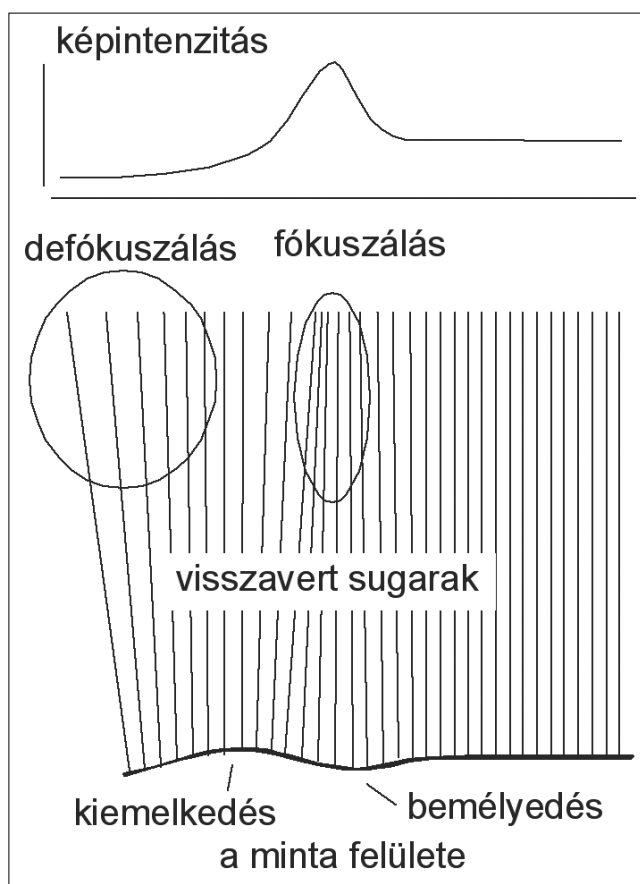
A 70-es évek végén új alternatív vizsgálati módszerként jelent meg az ősi japán varázstükör [2] modern adaptációjaként a Makyoh-topográfia [3,4] (a Makyoh japán szó, jelentése: varázstükör). Az eljárás működési elve a következő: a vizsgált szeletet homogén, kollimált fénynyaláb világítja meg, majd a visszaverődő fényt egy, a szelettől adott távolságban levő ernyő fogja föl. A felület mikrodeformációinak következtében az ernyőn létrejön egy, a felületre jellemző intenzitás-eloszlás, amelyből következtetni lehet a felület topográfiájára (1. ábra).

A gyakorlatban az elemi elrendezéssel optikailag egyenértékű, CCD kamerát és egyéb optikai elemeket tartalmazó elrendezések használatosak. A módszer szinte megkapó egyszerűsége számos kutatóhelyet és gyártót ösztönzött az alkalmazásra. Az eljárást az 1990-es évektől kezdve már elterjedten alkalmazták elsősorban szeletek válogatására és a csiszolási-polírozási technológia minősítésére [4-6]. A berendezés felépítése rend-

kívül egyszerű, nagy felületekre való kiterjesztése könnyen megoldható és a módszer nagy érzékenységgel, valós időben képes képet adni a vizsgált felület felületi hibáiról, nagy hátránya viszont, hogy eredeti megvalósításában kvantitatív vizsgálatokra nem alkalmas.

A jelen cikk célja a Makyoh-topográfia témájában az MFKI-ban, majd a jogutód MFA-ban folyó alap- és alkalmazott kutatások rövid, szemelvényes jellegű bemutatása.

1. ábra A Makyoh-topográfia képalkotásának vázlatja

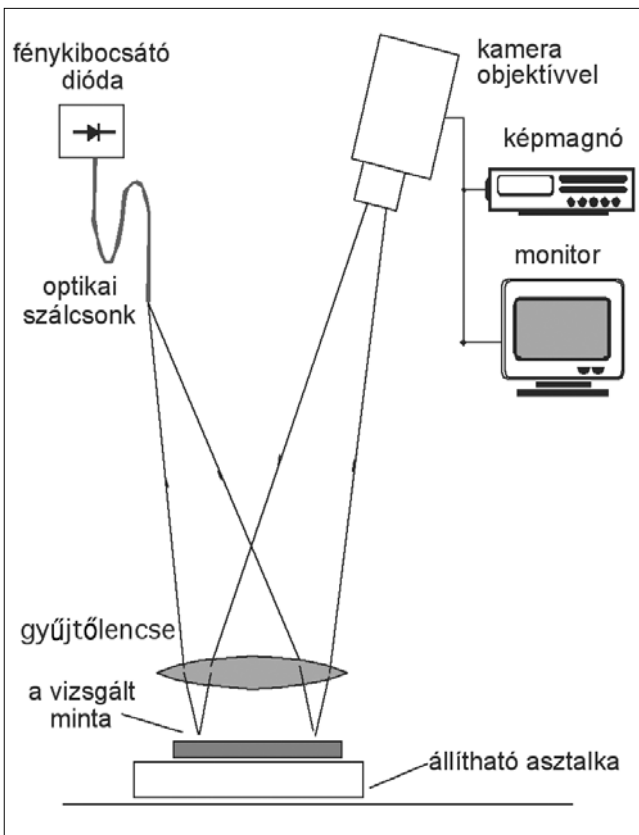


## 2. Kezdeti lépések

Az MFKI-ban a módszerrel kapcsolatos kutatások a 90-es évek elején kezdődtek. Az MFKI-ban megépített berendezés [7] vázlata a 2. ábrán látható.

Az eszköz fényforrása egy optikai szálcsonkkal ellátott LED (hullámhossz 820 nm), amely 50 μm átmérőjű fényfoltot biztosít. A minta fölött egy nagy átmérőjű, 500 mm fókusztávolságú gyűjtőlencse helyezkedik el; ez kollimátorként szolgál a fényforrás, és nagyítólencseként a kamera számára. A minta maximális mérhető területét a lencse átmérője 75 mm-re korlátozza. A nyert képeket képmagnóra rögzítettük.

2. ábra  
Az MFKI-ban felépített első Makyoh-topográfias berendezés vázlata



A GaAs alapú eszközöknek az MFKI Mikrohullámú Eszközök Főosztályán folyó kutatása és gyártása, valamint nemzetközi kapcsolataink bőségesen szolgáltatnak próbatesteket a vizsgálatokhoz [8, 9]. E vizsgálatok – az akkori irodalmi adatokkal összhangban – még megmaradtak a kvalitatív értelmezés keretein belül.

A 3. ábra jellegzetes felvételein megfigyelhető közel párhuzamos ívekből álló mintázat feltehetőleg fűrészelési nyomra, a periodikus, sötét pöttyök durva morfológiára utalnak; a nagy kiterjedésű, lassan változó kontraszt pedig a szelet nagyléptékű deformációját jelzi.

## 3. A képkalkotás alapjai

Mivel a számszerű eredményeket szolgáltató mérés nemcsak természetes igény, hanem a korszerű technológiaminősítés alapvető követelménye, további kutatásaink a Makyoh-topográfia képkalkotásának a vizsgálatára irányultak. Mivel minden Makyoh-topográfias rendszerhez található egy olyan, optikailag ekvivalens rendszer, amely – egy nagyítási tényezőtől eltekintve – kollimált fényű megvilágításból és egy távoli felfogó ernyőből áll, a leképezést egyetlen paraméter, az ekvivalens minta-ernyő távolság jellemzi (továbbiakban  $L$ ) [10,11].

A képkalkotás geometriai optikai modelljét a [12] cikkben ismertettük részletesen. Itt csak a végeredményt közöljük. A vizsgált  $h(\mathbf{r})$  felület egy adott  $\mathbf{r}$  pontjából visszavert fénysugár  $\mathbf{f}(\mathbf{r})$  pozícióját az ernyőn az alábbi összefüggés adja meg (kis beesési szög, azaz viszonylag egyenes felület esetén):

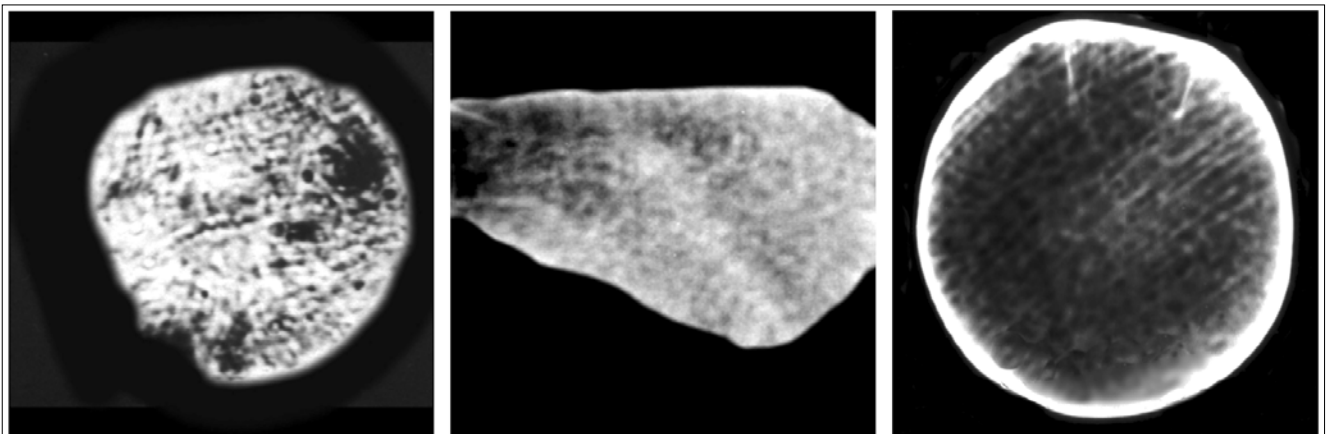
$$\mathbf{f}(\mathbf{r}) = \mathbf{r} - 2L \text{grad } h(\mathbf{r}). \quad (1)$$

Ez az egyenlet a visszaverődési törvényből triviálisan következik: a visszavert fénysugárnak a feltételezett sík mintafelülethez képesti eltolódása a felület adott pontjában mért gradiensevel arányos.

Az  $\mathbf{f}(\mathbf{r})$  pont relatív (sík, egységnyi reflektivitású felület esetében mérhetőhöz viszonyított)  $I(\mathbf{f})$  fényintenzitását pedig a következő összefüggés írja le:

$$I(\mathbf{f}) = \frac{\rho(\mathbf{r})}{|(1 - 2LC_{\min}) \times (1 - 2LC_{\max})|}, \quad (2)$$

3. ábra Félvezető szeletek jellegzetes Makyoh-képe



ahol  $\rho(\mathbf{r})$  a felület lokális reflektivitása,  $C_{\min}$  és  $C_{\max}$  pedig a minta felületének lokális minimális, illetve maximális görbületei. A visszavert sugár intenzitását tehát a felület másodrendű tulajdonságai határozzák meg.

A fenti egyenletekből következik, hogy kis  $|L|$  mellett a mintafelület egy adott pontja és a pont képe közel lesz egymáshoz (a mintát és az ernyőt azonos síkba képelve) és a képkontraszt fő összetevőjét a felület reflexiós tényezőjének az inhomogenitása adja. Növekvő  $|L|$  megnöveli a pont és képe közti távolságot és a kép kontrasztját is, elnyomva a felület egyenetlen reflexiójából eredő kontraszt-összetevőt. A legkedvezőbb beállítás tehát  $|L|$ -nek abban a közepes tartományában van, amelyik elegendően nagy kontrasztot eredményez a megbízható megfigyeléshez, ugyanakkor a felületi struktúra integritása is megőrződik a képen.

Bár a fenti geometriai optikai leírás csak közelítő, a gyakorlati esetekben mégis kielégítő leírást ad. Diffrakciós jelenségek ugyanis akkor kerülnek előtérbe, amikor a képsík egy pontjában sok sugár találkozik, vagy élek, nyílások stb. árnyéka mentén. A gyakorlatban a vizsgált félvezető szeletek reflexiója nem mutat erős egyenetlenségeket és a leképezés legkedvezőbb tartománya éppen az, ahol fókuszálási hatások nem jelentkeznek, így a geometriai optikai modell valóban megfelelő.

#### 4. Kvantitatív Makyoh-topográfia

Bár a Makyoh-topográfia leképezési törvényei egyszerűek, a leképezést leíró egyenletek nem invertálhatók, ezért a felületi Makyoh kép alapján a felületi domborzat meghatározása általános esetben analitikusan nem lehetséges [13]. Ha a homogén megvilágítást azonban valamilyen maszk segítségével strukturáljuk, ezzel mintegy „megjelöljük” a felület bizonyos pontjait. Így az (1) egyenlet alapján a felület gradiense a megjelölt pontokban meghatározható, ha ismerjük az ideális sík felülethez tartozó pozíciót. A (2) egyenlet ekkor feleslegessé válik. A strukturálás legcélszerűbb megvalósítása egy négyzetháló mintájú maszkkal történhet. A  $h(x, y)$  felületi domborzat a következő integrálközelítő összeggel számítható ki a rácspontokban [13]:

$$h(x, y) = \frac{1}{2L} \sum \left[ \Delta x(x_i - f_{xi}) + \Delta y(y_i - f_{yi}) \right] \quad (3)$$

Itt  $\Delta x$  és  $\Delta y$  a háló celláinak a mérete,  $(f_x, f_y)$  pedig az  $(x, y)$  hálópont képének a koordinátái. Az  $(x_i, y_i)$  az ideális síkhoz tartozó koordinátákat jelöli, amelyeket egy referenciakörrel elvégzett méréssel határozhatunk meg. Az összegzés egy kezdőpontból kiindulva történik; e kezdőpont  $h$  magassága önkényesen megválasztható. Az összegzés útja elvben önkényesen választható meg, hiszen minden, adott kezdő- és végpontú út mentén kiszámított összeg ugyanazt az eredményt kell hogy adja. A gyakorlatban azonban a rács véges felbontása miatt az integrálközelítő összeg hibája függ az útvonalról és mértéke általában nem jósolható meg.

A módszer hibáját jelentősen csökkenthetjük, ha az összes (pontosabban célszerűen a kezdőpont és a mért pont által meghatározott téglalapon belüli) lépésben bejárható útra elvégezzük az összegzést, és a kapott magasságértékeket átlagoljuk. Ez viszont igen hosszú számítási időt vesz igénybe már egy kisebb négyzethálós esetén is. Ezért kidolgoztunk egy rekurzív algoritmust, amely az előbbi eredményt adja, de jóval gyorsabban [14-15].

A háló rácspontjainak meghatározására megalkotunk egy algoritmust, amelynek lényege, hogy a Makyoh-képen „végigfuttatunk” egy kereszt alakú súlyfüggvényt és meghatározzuk a kép adott részének, valamint a súlyfüggvénynek a korrelációját. A korrelációs függvény lokális maximumainak megkeresésével a rácspontok koordinátái tört pixel pontossággal meghatározhatóak.

A leírt módszer automatizálható, egyszerű és gyors (50x50 méretű rács esetén gyakorlatilag valós idejű) kvantitatív vizsgálatokat enged meg. Fontos megjegyezni, hogy – feltéve, hogy a rácsvonalak sokkal vékonyabbak a rácsperiódusnál – a Makyoh-kép továbbra is mutatja a kisebb méretű felületi hibák okozta kontrasztváltozást. Ez a tulajdonság megfelel a félvezető-technológia minősítési igényeinek, ugyanis a szeletek topográfiája a leggyakrabban egy lassan változó deformáció (görbület, vetemedés) és lokalizált hibák (csiszolási, polírozási hibák stb.) szuperpozíciójából áll. Célszerű, ha a rács képe közelítőleg éles. Ez a 2. szakaszban leírt összeállítással megvalósítható.

Az integrálközelítő összegzés útfüggés okozta hibája kiküszöbölhető egy iteratív eljárás, az úgynevezett relaxációs módszer alkalmazásával [15,16]. A módszer jóval pontosabb, mint az összegzéses közelítés, hátránya viszont, hogy mivel iteratív, lassabb; valós idejű mérésekre nem alkalmas.

#### 5. Alkalmazások

##### 5.1. Integrált áramkörök hordozóról való eltávolítása során fellépő deformációk vizsgálata

Napjainkban a félvezetőipar egyik dinamikus fejlődő ága a félvezető szeletek újrahaznosítása (angolul: wafer reclaim). A nagy átmérőjű szeletek rendkívül drágák, viszont bizonyos célokra megfelelnek a technológiából kiesett és újrahaznosításra alkalmassá tett szeletek. Hasonló megfontolások érvényesek az új, költséges technológiájú vegyület-félvezetőkre (pl. SiC, GaN). A szeletviasszanyerés magában foglalja a már kialakított áramkörü rétegek eltávolítását és a szelet újraciszolását.

Intézetünkben egy olyan modellkísérletet végeztünk el [17], amelynek célja az újrahaznosítás egyes lépéseinek hatására bekövetkező deformációváltozás vizsgálata és azok okainak kiderítése. A kísérlet során 2 hüvelyk átmérőjű, áramköröket tartalmazó Si szeletek deformációit vizsgáltunk meg az egyes rétegek eltávolítása után.

Megmutattuk, hogy az áramkörök funkcionális leválasztott rétegeinek (oxid vagy fémezés) eltávolítása a szelet görbületének egyenletes változását eredményezi, míg az utolsó lépésként alkalmazott csiszolás egyenetlen deformációt okoz, amely függ az eredeti deformáció mértékétől és a csiszolási eljárás paramétereitől. A minták polírozás utáni vizsgálata során megállapítottuk, hogy az eredetileg viszonylag sík felületű szeletek síkok, míg az egyenletesen görbült szeletek egyenletesen görbültek maradtak.

Értelmezésünk szerint ennek oka az, hogy polírozáskor a mintáknak az őket megtámasztó fémtömbre való felragasztásakor a görbült szeletek az alkalmazott nyomás hatására „kiegyenesedtek”, majd a polírozás végeztével ez a feszültség megszűnt, így visszanyerték eredeti alakjukat. Ezzel szemben a polírozás előtt szabálytalan alakot mutató szeletek domborzata megváltozott és az új profil semmilyen korrelációban sem volt az eredeti alakkal. Ezek a deformációk feltehetően a polírozási művelet hiányosságaira utalnak.

## 5.2. Mikrogépészeti (MEMS) szerkezetek deformációjának a vizsgálata

Bár a Makyoh-topográfia elsősorban nagy méretű felületek vizsgálatára alkalmas, és az erősen strukturált

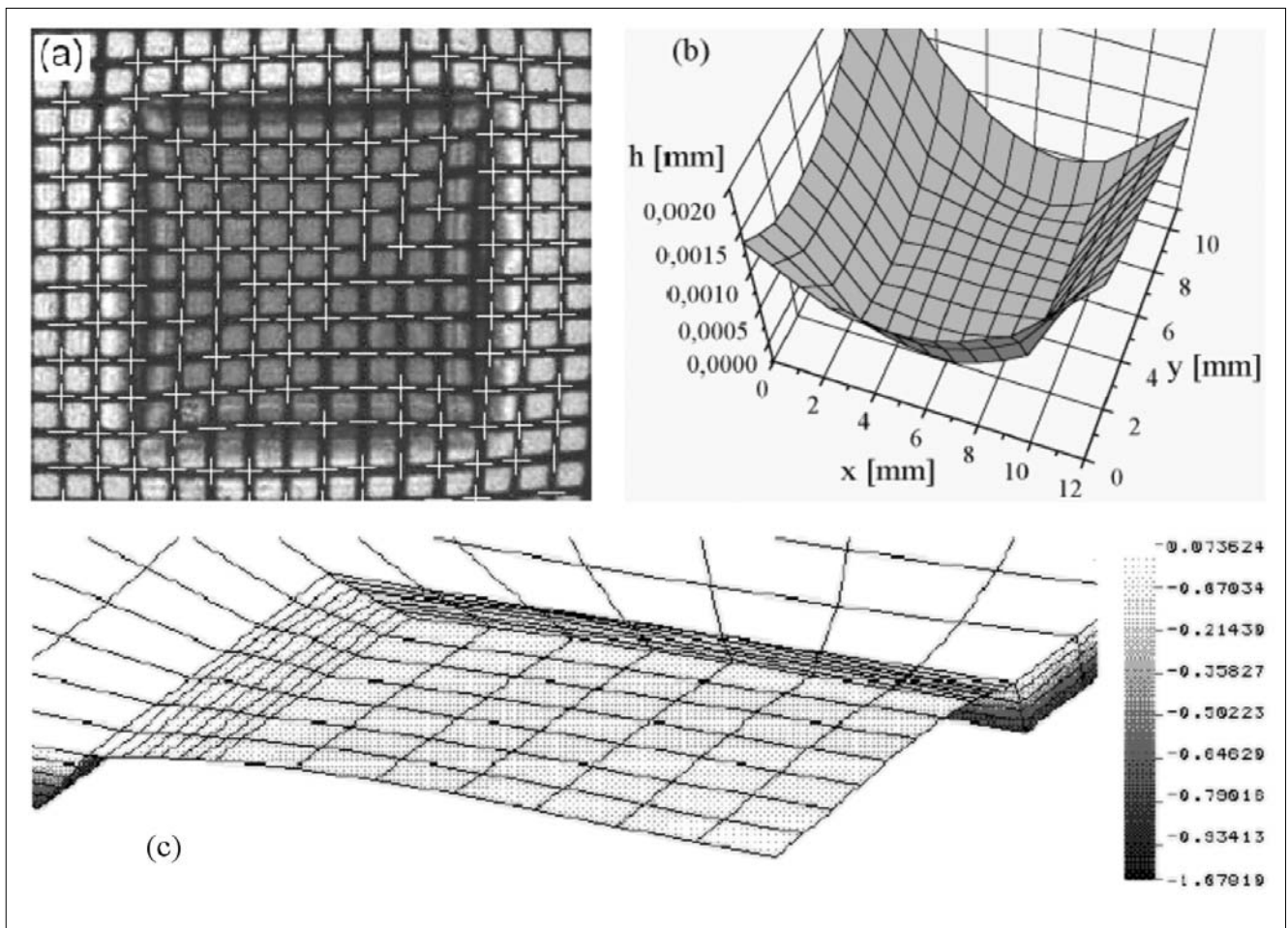
MEMS minták esetében jelentős diffrakciós hatásokkal is számolnunk kell, bizonyos egyszerűbb esetekben a módszer eredményesen alkalmazható.

Si/SiN<sub>x</sub> anyagú, 4-10 mm oldalhosszúságú négyzet alakú membránok deformációját vizsgáltunk [18]. Az elkészített membránok közepének kiemelkedését összehasonlítottuk a végeelem-módszerrel végzett számításokkal is, abból a célból, hogy meghatározzuk a SiN<sub>x</sub> hőtágulási együtthatóját.

A membránok középpontjának kiemelkedésére a szimulációval és a Makyoh-méréssel kapott eredmények között igen jó egyezést találtunk, ha a szimulációban a SiN<sub>x</sub> hőtágulási együtthatóját  $2,62 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ -re állítottuk be. Kiemeljük, hogy a membránok középpontjának a kiemelkedése  $0,1 \mu\text{m}$  alatti volt, ami a Makyoh-topográfia és a hőtágulási együttható mérésének nagy érzékenységet mutatja.

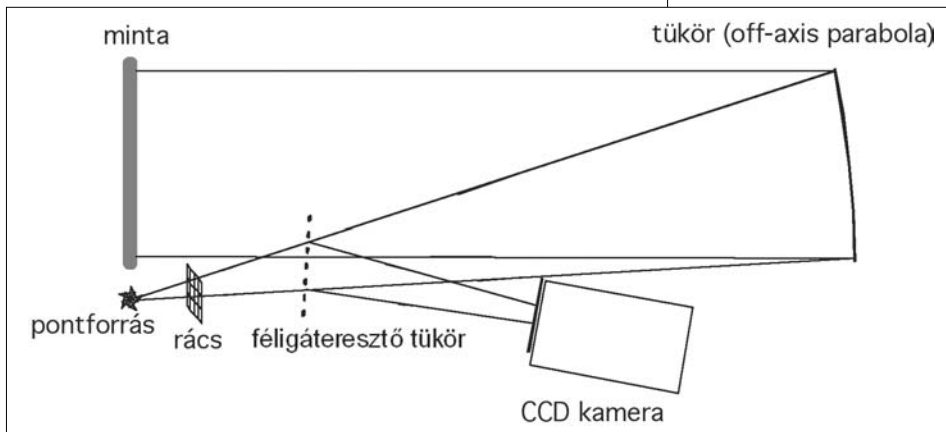
A 4. ábrán a megfelelő Makyoh-kép, a kiértékelt domborzati térkép és egy jellegzetes szimulációs eredmény látható. A mért Makyoh-topogram szerint az egyébként domború membrán közepén egy sekély ( $\approx 0,01 \mu\text{m}$ ) bemélyedés található, amit a szimulációs modell jól reprodukált. A hordozó membrán-környéki deformáltsága szintén megfigyelhető mind a Makyoh-topogramon, mind a szimuláció eredményén.

4. ábra Egy 10 mm x 10 mm-es SiN<sub>x</sub> membrán  
a) Makyoh-képe a meghatározott rácsponthoz, b) a kiszámított profil és  
c) végeelem-módszerrel szimulált kétdimenziós profilja (a magassági adatok  $\mu\text{m}$ -ben).



## 6. Új kísérleti elrendezések: tükör alapú összeállítás és a DMD

A 2. szakaszban leírt mérési összeállítás legnagyobb hátránya, hogy nagy átmérőjű minták vizsgálatára nem, vagy csak jelentős korlátozásokkal alkalmas. Ugyanis a kollimátor/nagyító lencse nem készíthető tetszőlegesen nagy méretben lencsehibák nélkül. Ennek a problémának a megoldására tükör alapú rendszert terveztünk és építettünk meg [19-22]. Az elrendezés az 5. ábrán látható.



5. ábra  
Tükör alapú Makyoh-topográfias rendszer vázlatja

Az „off-axis” elrendezésben használt parabolatükör miatt nincs szférikus aberráció, a nyalábosztó alkalmazása miatt a leképezés parallaxismentes. A parabolatükör átmérője 300 mm, fókusz távolsága 1524 mm.  $L$  értéke kb. 0 és 5500 mm között szabályozható a kamera objektívjének távolságbeállításával. Ezzel a berendezéssel egy korszerű, érzékeny, nagy dinamikai tartományú, széleskörűen alkalmazható eszköz birtokába jutottunk. Az elrendezés legnagyobb előnye a méretbeli skálázhatóság: 450 mm átmérőjű,  $\lambda/20$  felületi minőségű off-axis parabolatükrök kereskedelmi forgalomban kaphatók. Alternatív elrendezésként a megvilágító és a detektáló fényútban külön-külön gömbtükröket tartalmazó összeállítást is építettünk és demonstráltuk működését [20]. Ezen összeállítás előnye a parabolatükrök rendszerhez képest a kisebb költség.

A „vetített rácson” változat legnagyobb hátránya a rossz laterális felbontás: a rácson a rácspontok detektálása érdekében ugyanis kellően ritkának kell lennie. A laterális felbontás sokszorosára növelhető mozgatható rácson és szekvenciális felvételek alkalmazásával; ekkor a rácson az egyes felvételek között a rácspériódus törtrészeivel mozgatható, így lényegében egy kis (az elmozdítással megegyező) periódussal rendelkező „szuperrácson” kapunk. A valós idejű mérés természetesen nem valósítható meg. A megvalósításhoz a legcélravezetőbb vezérelhető tükrömátrixot (DMD, Digital Micromirror Device) használni. A DMD mátrixba rendezett, egyedileg címezhető, átlójuk mentén két helyzetbe billenthető tükrökből áll. (Ilyen eszközöket használnak például a DLP típusú projektorokban.)

A hagyományos rögzített mintájú maszknál finomabb mintázat miatt itt még fontosabb, hogy a rácson képe a Makyoh-képen éles legyen, és mivel ez a tükrös rendszerrel nehezebben valósítható meg, a DMD-t egy két gyűjtőlencséből álló teleszkópos megvilágító rendszerbe illesztettük. Az összeállítás első (még lencse alapú) változata az Oxfordi Egyetemen épült meg [16], ezzel 0,7 mm laterális felbontást értünk el és a körülbelül  $7 \mu\text{m}$  teljes magasságváltozásra vetítve maximum 10% eltérést észleltünk az interferometriával nyert eredményhez képest.

A DMD alkalmazása a Makyoh-topográfiában új perspektívákat nyit meg [21]. A leírt eltolt rácson mérésen kívül lehetőség nyílik bármilyen tetszőleges periódusú rácson (sőt, egyéb mintázaton) megvalósítására, ezzel a mérési sebesség és a laterális felbontás közötti kompromisszum igény szerint meghatározható.

## 7. Összefoglalás

Az ismertetett kutatás egy már ismert és alkalmazott vizsgálati módszer alapjainak a tisztázásához járult hozzá: az egykori „mágikus” jelenségből megértett, szerteágazó feladatokra sokoldalúan alkalmazható, az ipari alkalmazások kapuját döngető eljárás lett.

A további alkalmazásokkal és egyéb vonatkozásokkal kapcsolatban az irodalomra [23-25], valamint a kutatási téma honlapjára ([www.mfa.kfki.hu/~riesz/makyoh/](http://www.mfa.kfki.hu/~riesz/makyoh/)) utalunk.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik a következő munkatársaik segítségét:

Bársony István, Chalupa János, Dücső Csaba, Erős Magdolna, Fürjes Péter, Gubics János, Karányi József, Németh Tiborné, Somogyi Károly, Szász Károly, Tunyogi Erika és Vízváry Zsolt.

A kutatómunkát támogatták:

Országos Tudományos Kutatási Alap (F 25224, T 037711 és M 041735 sz. szerződések), Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (Riesz Ferenc), KPI (GVOP-3.2.1.-2004-04-0337/3.0. sz. szerződés), Európai Unió (MEMSWAVE, INCO-Copernicus, 977131 sz. szerződés és HYPHEN, FP6-027455 sz. szerződés), The Royal Society of London.

### Irodalom

- [1] Muller T., Kumpe R., Gerber H.A., Schmolke R., Passek F., Wagner P.:  
Techniques for analysing nanotopography on polished silicon wafers, Microel. Engin. 56. (2001), p.23.

- [2] Riesz F.:  
Egy 2000 éves elv a csúcstechnológiában –  
A japán varázstükör,  
Élet és Tudomány 55. (2000), p.41.
- [3] Kugimiya K:  
Makyoh: The 2000 year old technology still alive,  
Journal Crystal Growth 103. (1990), p.420.
- [4] Blaustein P., Hahn S.:  
Realtime inspection of wafer surfaces,  
Solid State Technol. 32. (1989), p.27.
- [5] Tokura S., Fujino N., Ninomiya M., Masuda K.:  
Characterization of mirror-polished silicon wafers  
by Makyoh method,  
Journal Crystal Growth 103, (1990), p.437.
- [6] Pei Z.J., Xin X.J., Liu W.:  
Finite element analysis for grinding of  
wire-sawn silicon wafers: a designed experiment,  
Int. Journal Machine Tools Manufact. 43 (2003), p.7.
- [7] Szabó J., Makai J.:  
Tükörjellegű felületek vizsgálata Makyoh módszerrel,  
Elektron. technológia, mikrotechnika 32. (1993),  
p.15.
- [8] Németh-Sallay M., Minchev G.M., Pődör B.,  
Pramatarova L.D., Szabó J., Szentpáli B.:  
Investigation of the surface preparation of  
GaAs substrates for MBE and VPE with whole  
sample optical reflection,  
Journal Cryst. Growth 126. (1993), p.70.
- [9] Minchev G.M., Pramatarova L.D., Pődör B., Szabó J.:  
Experimental confirmation of  
the peculiar behavior of the coherent-type  
twin boundaries in sphalerite crystals,  
Crystal Research and Technology 29. (1994), p.1131.
- [10] Riesz F.:  
Camera length and field of  
view in Makyoh-topography instruments,  
Review of Scientific Instruments 72. (2001), p.1591.
- [11] Szabó J., Riesz F., Szentpáli B.:  
Makyoh topography: curvature measurements and  
implications for the image formation,  
Jpn. Journal Applied Physics 35. (1996), L258.
- [12] Riesz F.:  
Geometrical optical model of the image formation  
in Makyoh (magic-mirror) topography,  
Journal Physics D: Applied Physics 33. (2000),  
p.3033.
- [13] Riesz F., Lukács I.E.:  
Possibilities of quantitative Makyoh topography,  
Proc. of 3rd International EuroConf. Advanced  
Semiconductor Devices and Microsys.,  
16-18 October 2000, Smolenice,  
Editors: Osvald J., Hascík S., Kuzmík J., Breza J.,  
IEEE, Piscataway (2000), p.215.
- [14] Lukács I. E., Riesz F.:  
Error analysis of Makyoh-topography surface height  
profile measurements,  
Eur. Phys. Journal – Appl. Phys. 27. (2004), p.385.
- [15] Riesz F., Lukács I.E.:  
Sensitivity and measurement errors of  
Makyoh topography,  
Physica Status Solidi (A) 202. (2005), p.584.
- [16] Lukács I.E., Riesz F., Laczik Z.J.:  
High spatial resolution Makyoh topography  
using shifted grid illumination,  
Physica Status Solidi (A) 195. (2003), p.271.
- [17] Lukács I.E., Riesz F.:  
Makyoh-topography assessment of etch and polish  
removal of processed circuits for substrate re-use,  
Microel. Engin. 65. (2003), p.380.
- [18] Lukács I.E., Vízváry Zs., Fürjes P., Riesz F.,  
Dücső Cs., Bársony I.:  
Determination of deformation induced by  
thin film residual stress in structures of millimetre size,  
Adv. Eng. Mater. 4. (2002), p.625.
- [19] I.E. Lukács, J.P. Makai, F. Riesz, I. Eördögh,  
B. Szentpáli, I. Bársony, I. Réti, A. Nutsch,  
Wafer flatness measurement by Makyoh (magic-mirror)  
topography for in-line process control,  
Proc. 5th European Advanced Equipment Control /  
Advanced Process Control (AEC/APC) Conference,  
14-16 April 2004, Dresden, Germany, p.514.
- [20] Makai J.P., Riesz F., Lukács I.E.:  
Practical realizations of the Makyoh arrangement for  
the investigation of large area mirror-like surfaces,  
3rd International Conference on Metrology [CD-ROM],  
14-16 November 2006, Tel Aviv, Israel.
- [21] Riesz F., Lukács I.E., Makai J.P.:  
Realisation of quantitative Makyoh topography  
using a Digital Micromirror Device,  
SPIE Europe Optical Metrology, 17-21 June 2007,  
Munich; Proc. of SPIE, Vol. 6616., Paper 66160L.
- [22] Lukács I.E., Makai J.P., Pfitzner L.,  
Riesz F., Szentpáli B.:  
Apparatus and measurement procedure for  
the fast, quantitative, non-contact topographic  
investigation of semiconductor wafers and other  
mirror like surfaces,  
European Patent EP 1 434 981 B1, 5 July 2006.  
US Patent 7,133,140 B2, 7 November 2006.
- [23] Riesz F.:  
Makyoh topography for the morphological study of  
compound semiconductor wafers and structures,  
Mater. Science and Engineering B 80 (2001), p.220.
- [24] Lukács I.E., Riesz F.:  
A simple algorithm for the reconstruction of  
surface topography from Makyoh-topography images,  
Crystal Res. Technol. 36. (2001), p.1059.
- [25] Lukács I.E., Fürjes P., Dücső Cs., Riesz F.,  
Bársony I.:  
Process monitoring of MEMS technology by  
Makyoh topography,  
Proc. of 13th Micromechanics Europe Workshop  
(MME'2002), 6-8 October 2002, Sinaia, Romania,  
p.283.