

HULUMTIMI I GJYSMËPËRÇUESVE SHITESËHOLLË ME ANË TË MORFOLOGJISË MATEMATIKE DHE TË TEKNIKAVE OPTOELEKTRONIKE (INVESTIGATION OF THIN FILM-BASED SEMICONDUCTORS USING MATHEMATICAL MORPHOLOGY AND OPTOELECTRONIC TECHNIQUES)

Nebi CAKA^a dhe Jahja KOKAJ^b

^aFakulteti i Inxhinierisë Elektrike dhe Kompjuterike, Universiteti i Prishtinës, KOSOVË

^bDepartment of Physics, Faculty of Science, Kuwait University, KUWAIT

E-mail: *nebi.caka@fiek.uni-pr.edu, kokay@kuc01.kuniv.edu.kw*

PËRMBLEDHJE

Janë studiuar me anë të mikroskopisë elektronike shtresat e holla të materialeve gjysmëpërçuese të depozituara mbi nënshtresa të caktuara. Grimcat e materialit gjysmëpërçues të depozituara mbi nënshtresë kanë shpërndarje arbitrare apo të çrregullt në formë grumbullimesh. Pikëtakimet e sipërfaqeve të grimcave brenda një grumbullimi të caktuar dhe largësia ndërmjet grumbullimeve përcaktojnë vetitë mikroskopike të materialit gjysmëpërçues. Këta kufij ndërmjet grimcave a kokrrizave dhe grumbullimeve kanë veti domethënëse për shtresat e holla dhe për përdorimin e tyre të mundshëm në optoelektronikë. Meqenëse imazhet e përfuara me anë të metodës së mikroskopisë elektronike dhe asaj të difraksionit të rrezeve X nuk japin informacion të plotë për mikrostrukturën e materialit, përkatësisht për pikat e takimit a ndërlidhjet ndërmjet kokrrizave të materialit, ne propozojmë që për këtë qëllim të përdoret metoda e morfologjisë matematike. Varësisht nga cilësitë e imazheve të përfuara të nanogrimcave dhe shpërndarjes së tyre në mikrostrukturat e depozitimeve në shtresat e holla të depozituara mbi nënshtresa të caktuara, janë përdorur operacione të ndryshme të morfologjisë matematike, si dilatacioni, erozioni, hapja dhe mbyllja. Rezultatet e

fituara na mundësojnë të përcaktojmë në mënyrë më të plotë konturet e këtyre mikrostrukturave. Ato na japin një informacion më të plotë dhe më domethënës për ndërlidhjet dhe shpërndarjen e grimcave në sipërfaqen e shtresave të holla, nga të cilat varen vetitë elektrike dhe optoelektronike të këtyre shtresave. Rezultatet e përfuara me anë të metodës së morfologjisë matematike janë vërtetuar me anë të metodës së difraksionit me rreze X: në të dyja rastet orientimi i kristaleve të shtresës së hollë prej materiali gjysmëpërçues është në drejtimin (002) sipas treguesve të Milerit për sistemet gjashtëkëndore të kristaleve.

Fjalët kyçe: gjysmëpërçuesit, shtresat e holla, morfologjia matematike, strukturat mikroskopike, strukturat makroskopike.

ABSTRACT

Thin film semiconductors are studied using electron microscopy. Particles deposited on the substrate are randomly distributed material. Contacting points between the clusters and particles determine the microscopic properties of the semiconductor. These boundaries between the grains and clusters therefore are relevant features for the semiconductor films and their possible applications in optoelectronics. Since the obtained

microscopic images are not sufficient to get into detailed inside to the structures and mentioned interconnection of material grains we propose the Mathematical Morphology to study the detailed distribution and interconnections. Based on the images of the surfaces of the thin films different operations such as dilation, erosion opening and closing is performed. Results obtained in this way enable one to determine the detailed contour structure of the image and therefore to reach into detailed and relevant information for interconnection and grain distribution on the film surface akin to the current flow and other optoelectronic properties of the film. Results obtained using mathematical morphology confirmed by applying X-ray diffraction technique are consistent. In both cases is shown that crystal direction of the film is in (002) direction according to Miller indices for the hexagonal crystal system.

Key words: semiconductors, thin-film, mathematical morphology, microscopic structures, macroscopic structures

1. HYRJE

Për shkak të vetive të tyre elektrike, optike dhe optoelektronike që i bëjnë të përshtatshëm për t'u përdorur në optoelektronikë, një numër i caktuar materialesh gjysmëpërçuese, ndër të cilat veçohet oksidi i zinkut (ZnO), janë bërë objekt i hulumtimeve të gjera dhe intensive viteve të fundit. Avancimi i fabrikimit të shtresave të holla prej materialesh gjysmëpërçuese në formë të depozitimeve të grimcave të materialeve gjysmëpërçuese mbi nënshtresa prej metali ose prej qelqi është i lidhur ngushtë me studimin e mikrostrukturës së këtyre shtresave [1-6]. Studimet në fjalë kanë për qëllim hulumtimin e mikrostrukturave të tyre kristalore; hulumtimin e rjetave kristalore, strukturave të tyre atomike-molekulare, vibracionet e rjetave në fjalë, proceset termike, vetitë elektrike, siç janë përçueshmëria elektrike dhe lëvizshmëria e elektroneve apo vetitë optike, siç janë transparenca e lumineshenca.

Për depozitim të shtresave të holla gjysmëpërçuese përdoren teknika të ndryshme, si: elektrodepozitimi, elektroforeza, depozitimi me anë të laserit impulsiv (PLD), spërkatja jonike,

epitaksia me tufë molekulare (MBE), depozitimi kimik metalo-organik në gjendje të avullit (MOCVD) dhe depozitimi kimik në gjendje të lëngët [7-11]. Teknikat ekzistuese mundësojnë depozitim në formë të shtresave të holla si të gjysmëpërçuesve të pastër, ashtu edhe të atyre me papastërti të elementeve të tjera. Që të gjithë këta karakterizohen me brezin e valencës, brezin e përçueshmërisë dhe brezin (zonën) e ndaluar. Futja e papastërtive të caktuara gjatë procesit të depozitimit bën të mundur ndërrimin e strukturave kuantike të brezave të përmendur, bën të mundur gjenerimin e niveleve dhe të kalimeve të reja energjetike të cilat mund të manifestohen nën veprimin e dritës në formë të fotofluoreshencës ose në formë të elektrolumineshencës [12-13]. Ndërtimi mikro- dhe makrostrukturor i formave të përmendura të shtresave të holla gjysmëpërçuese analizohet me metoda të ndryshme optike e elektrike, si: me anë të mikroskopit elektronik, difraksionit të rrezeve X, fotolumineshencës, katodolumineshencës, mikroskopisë konfokale etj.

Mikrostrukturat apo ndërtimet e niveleve kuantike mund të studiohen me anë të spektroskopisë fluoeshente, me anë të analizës së transparençës ose të absorbimit. Me anë të kësaj teknike me metodën ekstrapoluese mund të përcaktohet gjerësia e zonës së ndaluar. Te gjenerimi i niveleve të ndaluara me anë të futjes së papastërtive mund të analizohen strukturat e reja kuantike me anë të spektroskopisë fluoeshente.

Shtresat e holla gjysmëpërçuese prej ZnO janë të tipit n, dhe të tilla i bën hidrogjeni, që është i pranishëm në shumicën e teknikave të lartpërmendura të depozitimit (meqë ato rëndom kryhen ose në atmosferë të hidrogjenit, ose në prani të avujve të ujit), e i cili këtu luan rolin e papastërtisë së tipit n (donorit a dhuruesit). Një futje e kontrolluar e papastërtive të tipit n të shtresat e holla prej ZnO mund të arrihet duke zëvendësuar Zn (element i grupit II) me Al, Ga ose In (elemente të grupit III), ose duke zëvendësuar O (element i grupit VI) me Cl ose I (elemente të grupit VII). Al, Ga e In, përkatësisht Cl e I këtu luajnë rolin e donorit (dhuruesit) dhe prania e tyre rrit përqendrimin e elektroneve në shtresën e hollë prej ZnO, duke e bërë atë tip n.

Përfitim i ZnO të tipit p ende paraqet vështirësi, për shkak të tretshmërisë së ulët të papastërtive të tipit p dhe të kompensimit të tyre me tepri nga papastërtitë e tipit n. Kjo ka të bëjë jo vetëm me ZnO, por dhe me gjysmëpërçuesit e tjerë dysh të ngjashëm, si GaN dhe ZnSe. Analiza me rreze X, e konfirmuar edhe me anë mikroskopisë elektronike me skanim (SEM) tregon se shtresat e holla prej ZnO të depozituara mbi nënshtresa të caktuara me temperaturë më të lartë se 300 °C shfaqin strukturë gjashtëkëndore të tipit wurcit (*wurtzite*) me simetri prej 6 mm me orientim të preferuar përgjatë drejtimit kristalografik (002). Futja e indiumit (In) si papastërti në këto nënshtresa e ndryshon orientimin e kokrrizave (kristaliteve) në drejtimin (110). ZnO karakterizohet me zonë të ndaluar të drejtë të gjerë, prej 3,37 eV (ose 375 nm) në temperaturë të dhomës (300 K), ndaj ZnO i pastër është i pangjyrë dhe i tejdukshëm për pjesën më të madhe të spektrit të dritës së diellit. Kjo e bën ZnO të përshtatshëm për përdorim në celulat diellore, në sensorët e dritës, në diodat laser dhe në diodat dritëlëshuese (LED-at), e po ashtu edhe në valësjellësit dhe modulatorët optikë etj. Krahasuar me gjysmëpërçuesit e tjerë me zonë të ndaluar të gjerë, si GaN, bie fjala, ZnO ka një energji lidhëse eksitonike më të lartë, e cila arrin deri në 60 meV, e cila është shumë më e lartë se energjia termike në temperaturë të dhomës (26 meV), ndaj dhe drita që japin diodat laser dhe LED-at prej ZnO është më e shkëlqyer (më intensive). Shtresat e holla gjysmëpërçues prej ZnO dhe prej materialeve të ngjashme mund të përdoren, përveç si elemente të caktuara optoelektronike, edhe si sensorë të gazeve etj. Ato depozitohen, siç e pamë, me metoda të ndryshme, por metoda më ekonomike dhe mjaft efikase është metoda e depozitave të njëpasnjëshme në tretësirat kimike.

Në kuadër të këtij punimi strukturat e depozituara të shtresave të holla janë analizuar me anë të morfologjisë matematike të zbatuar në mënyrë optike. E veçanta e këtij punimi, pra, është futja e metodës së morfologjisë matematike (MM) të zbatuar në mënyrë optike për studimin e kontureve të kokrrizave të shtresave të holla gjysmëpërçuese dhe të strukturës mikroskopike

dhe shpërndarjes së tyre. Epërsia e zbatimit optik në krahasim me zbatimin e mundshëm digjital të morfologjisë matematike është shpejtësia e përfimit të rezultateve të analizave [17-19]. Konsiderojmë që shpejtësia e përpunimit të të dhënave dhe e analizës së strukturave të shtresave të holla gjysmëpërçuese hap mundësi të një zbatimi *on-line* gjatë fabrikimit të shtresave të holla, të cilat mund të përdoren si sensorë, komponente elektronike dhe për qëllime të tjera tregëtare.

2. BAZAT TEORIKE TË MORFOLOGJISË

MATEMATIKE DHE MATJET EKSPERIMENTALE

Në kuadër të këtij punimi, materialet gjysmëpërçuese në formë të grimcave në tretësira të lëngëta janë depozituar në formë të shtresave të holla mbi nënshtresa prej metali ose qelqi. Trashësia e shtresave të holla të fituara kështu është përcaktuar me metoda gravimetrike duke matur masën e shtresës së hollë të depozituar dhe duke përdorur një dendësi prej 5670 kg/m³. Në disa eksperimente disa nga shtresat e holla të fituara janë gërryer (grapcuar) me anë të acidit sulfurik. Më qëllim të studimit të strukturës së sipërfaqes së shtresave të holla është përdorur mikroskopi elektronik skanues (SEM) Jeol JSM-6300. Struktura e shtresave të holla është analizuar edhe me anë të difraksionit të rrezeve X (XRD) me anë të difraktometrit D500 të Simensit.

Meqë për herë të parë propozojmë morfologjinë matematike (MM) të zbatuar në mënyrë optike, do ta trajtojmë më poshtë atë shkurtazi.

Me morfologjinë rëndom nënkuptohet "trajta e jashtme dhe ndërtimi i diçkaje, mënyra si lidhen ndërmjet tyre pjesët përbërëse të saj; shkenca që studion trajtën dhe ndërtimin e brendshëm të diçkaje." (FGjSh). Termi "morfologji" fillimisht është përdorur në biologji, më vonë në gjuhësi, gjeografi e gjeologji, e krejtësisht vonë edhe në matematikë, e nga këtu edhe në lëmin e përpunimit (procesimit) të imazheve.

Morfologjinë matematike (MM) për herë të parë e propozuan Matheron [14] dhe Serra [15], kurse e avancoi Sternberg [16]. Zbatimin optik të morfologjisë matematike e bënë Casasent me bashkëpunëtorët e tij [17, 18]. Morfologjia matematike bazohet në teorinë e bashkësive dhe

është një mjet mjaft i fuqishëm për zgjidhjen e një numri të madh të problemeve të përpunimit të imazheve. Ajo e kundron imazhin të përbërë prej objektësh që paraqesin bashkësi pikselesh (pikash). Përdorimi i saj ka për qëllim largimin e gabimeve në imazh, përkatësisht rindërtimin e imazhit origjinal. Si metodë e përpunimit të imazheve ajo përdor transformimet gjatë analizës së objekteve, ashtu që krahason objektin e vështruar me një objekt me formë të caktuar, i cili quhet *element strukturues* (ES). Elementi strukturues mund të jetë, p.sh., një vijë, një katror apo një rreth me madhësi të caktuar. Transformimet apo veprimet (operacionet) matricore kryesore që përdoren në morfologjinë matematike janë: erozioni (angl. *erosion*), diletacioni (angl. *dilatation*), hapja (angl. *opening*) dhe mbyllja (angl. *closing*). Ato mund të zbatohen në imazhe binare dhe në imazhe me nuanca apo nivele gri (angl. *grey-scale images*: imazhe të shkallës së përhimët).

Operatorët morfologjikë themelorë janë *erozioni* dhe *diletacioni*, të cilët përputhen me *mbledhjen* dhe *zbritjen* e Minkovskit (Hermann Minkovski, 1864-1909), dhe në bazë të tyre mund të nxirren edhe dy operatorët e tjerë, *hapja* dhe *mbyllja*.

Erozioni paraqet heqjen (largimin) e pikseleve nga pjesët periferike apo skajet e objekteve brenda një imazhi të caktuar, ndërsa diletacioni paraqet shtimin e pikselave në këto pjesë periferike të imazhit. Hapja është erozion i ndjekur nga një diletacion, ndërsa mbyllja është diletacion i ndjekur nga një erozion. Këto operacione i lëmojnë kufijtë e parregullt duke plotësuar (mbushur) pikselat që 'mungojnë' ose duke hequr pikselat e izoluar dhe linjat e holla.

Më poshtë po japim bazat teorike të morfologjisë matematike (MM).

Supozojmë një bashkësi $P(E)$ të jetë bashkësi e përbërë nga nënbashkësitë $X \in E$, ku E është një hapësirë (apo bashkësi) arbitrare. Kur të gjitha pikat e bashkësisë X janë pjesë e hapësirës E , por njëkohësisht i përkasin edhe nënbashkësisë $B(X)$, atëherë bashkësia e tillë quhet *element strukturues* (ES). Pra, nënbashkësia në fjalë përbëhet nga elementet X të cilat janë po ashtu elemente të bashkësisë $X \in P(E)$. Në këtë rast mund të realizohet modifikimi i bazuar në transformimin i

cili realizohet duke bërë translacionin e B , që jep një bashkësi të re, e cila përfaqëson *erozionin* për të cilin vlen relacioni:

$$\text{erozioni: } \{X : Bx \subset\}$$

Në këtë rast të translacionit, pikat që përcaktojnë translacionin gjenden vazhdimisht brenda bashkësisë bazë $P(E)$. Pra Bx është e përfshirë brenda bashkësisë X me pikat e qendrave translatoese x . Në të vërtetë grupi i eroduar është lokusi i qendrave x të translacionit të Bx të përfshira në bashkësinë X . Lokusi i fituar si rezultat i transformimit në fjalë është i njëjtë me zbritjen e Minkovskit të shënuar me $X \ominus B$ të bashkësisë X për $ES B$, përkatësisht me:

$$X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_b$$

Erozioni i një bashkësie (imazhi) me anë të një elementi strukturues (ES) në formë të rrethit ka për rrjedhojë tëhollimin (angl. *thinning*) të bashkësisë (imazhit).

Operacioni tjetër bazë në morfologjinë matematike, *diletacioni*, është transformim i kundërt me erozionin, dhe ai shprehet me relacionin:

$$X \oplus B = (X \ominus B)^c$$

ku \oplus shënon diletacionin.

Le të jetë A një nënbashkësi e E^N dhe $x \in E^N$. Translacioni i A me x shënohet me $(A)x$ dhe përkufizohet si:

$$(A)_x = \{c \in E^N \mid c = a + x \text{ për disa } a\}$$

Diletacioni i A me B mund të llogaritet apo shprehet si union i translacioneve të $(A)_b$ për elementet B :

$$X \oplus B = \bigcup_{b \in B} (A)_b$$

Diletacioni i një bashkësie (imazhi) me anë të një elementi strukturues (ES) në formë të rrethit ka për rrjedhojë trashjen apo zgjerimin e bashkësisë (imazhit) për një vlerë (madhësi) të barabar të me rrezen e rrethit.

Hapja dhe *mbyllja*, siç u tha, formohen me kombinimin e erozionit dhe diletacionit. *Hapja* e shënuar me X në lidhje me B përkufizohet si:

$$X_B = (X \ominus B) \oplus B$$

Hapja e një bashkësie (imazhi) me anë të një elementi strukturues (ES) në formë të rrethit mund të interpretohet si rrotullim i rrethit brenda formës së bashkësisë - imazhit (angl. *rolling ball* algoritëm).

Veprimi dual apo komplementar i hapjes është *mbyllja*, e cila shprehet me:

$$X^B = [(X^C)B]^C = (X \oplus B) \ominus B$$

Këto katër operacione të morfologjisë matematike (MM) përdoren për analizën morfologjike të shtresave të holla të përftuara. Më anë të tyre analizohet shpërndarja, ndërlihdhja konturore dhe orientimi i grimcave kristalore të depozituara në sipërfaqe të shtresave të holla. Mirëpo në kuadër të këtij punimi nuk është përdorur MM konvencionale digjitale, por është zbatuar MM optike. Metodologjia e përfutimit të operacioneve të përmendura të MM dallon nga procedura digjitale. Zbatimi morfologjik realizohet nëpërmjet korrelatorit optik të paraqitur në Fig. 1, të përbërë nga dy thjerra konvekse, në largësitë fokale (vatrore) të së cilave vendosen imazhet e caktuara.

Korrelatori optik është një sistem optik i cili bën vlerësimin e shpejtë automatik të një imazhi në tërësi. Në dallim nga procesori digjital i imazheve, i cili imazhin e përpunon në seri piksel për piksel, korrelatori optik imazhin e përpunon në paralel, si të tërë, duke analizuar, me një rezolucion të lartë dhe me një shpejtësi të madhe, tiparet e tij të caktuara, siç janë madhësia, forma, ndritshmëria, orientimi, pozicioni etj. duke përdorur dritën koherente të lazerit dhe transformimet optike Furie. Bazuar në teorinë e difraksionit të Fraunhoferit, mund të tregohet se një thjerrë e rëndomtë konvekse (konvergjente), me gjatësi fokale f , bën transformimin dydimensional Furie, në largësinë f mbrapa saj, të objektit (në rastin tonë: të imazhit dydimensional) të vendosur në largësinë f para saj [20].

Në korrelatorin tonë optik (Fig. 1), imazhet e fituara me anë të mikroskopit skanues elektronik janë vendosur në rrafshin P_1 . Tufa koherente paralele duke depërtuar në rrafshin në fjalë mbledh informacionet e imazhit dhe me anë të thjerrëzës L_1 bëhet transformimi Furie në rrafshin P_2 . Mirëpo para se të fillojë aktivizimi i kësaj tufe, në rrafshin P_2 është vendosur, i transformuar në formën Furie, imazhi i elementit strukturues (ES) më të cilin do të realizohet MM. Me depërtimin e tufës që vjen nga rrafshi fillestar, në rrafshin e frekuencave realizohet konvolucioni, i cili bartet me tufën e cila duke kaluar nëpër thjerrëzën L_2

bie në rrafshin P_3 , ku bëhet edhe një transformim Furie apo transformimi invers. Në këtë rrafsh të korrelacionit bëhet prerja vertikale apo pragëzimi në nivel të caktuar të së përhimëtës (nuancës gri). Nëse ky pragëzim bëhet në nivel të lartë të intensitetit, realizohet erozioni i imazhit hyrës në rrafshin P_1 . Nëse pragëzimi bëhet në nivel të ulët të intensitetit, realizohet operacioni morfologjik i diletacionit. Në këtë mënyrë, me anë të elementeve optike si në konfigurimin optik të paraqitur në Fig. 1, që në fakt përfaqëson kompjuterin optik për MM, kryhen të gjitha operacionet e MM. Kohëzgjatja e operacioneve është shumë e shkurtër, 10^{-8} s, dhe kjo kohëzgjatje është e njëjtë për të gjitha imazhet e shtresave të holla që vendosen në rrafshin P_1 , meqë, siç thamë, përpunimi i imazheve bëhet në paralel (njëkohësisht) apo për të gjitha format e mundshme të elementit strukturues (ES) me të cilat kryhen operacionet morfologjike në fjalë.

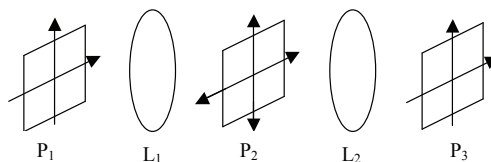


Fig. 1 Korrelatori optik për procesimin morfologjik të imazheve

3. REZULTATET EKSPERIMENTALE

3.1. REZULTATET E MIKROKOPISË ELEKTRONIKE

Në Fig. 2 janë paraqitur imazhet e shtresave të holla tipike të fituara me anë të mikroskopit elektronik. Në Fig. 2.a shihet imazhi i strukturave të grimcave në sipërfaqen e shtresës së hollë, madhësia e të cilave kishte vlerë mesatare të diametrit 380 nm. Ndërkaq në Fig. 2.b dhe 2.c, vlera mesatare e diametrit të grimcave ishte më e vogël, rreth 180-220 nm. Derisa në imazhin e parë dallohet një sipërfaqe mjaft e vrazhdë, në dy imazhet vijuese të dy shtresave të tjera të holla hetohet një homogjenitet i sipërfaqeve të cilat në makroshikim përfaqësojnë një sipërfaqe relativisht të lëmuar. Lëvizshmëria e elektroneve në materialin e shtresës së hollë, transparenca e saj dhe koeficienti i reflektimit, si dhe vetitë mikrostrukturale të shtresave të holla përcaktohen nga shpërndarja

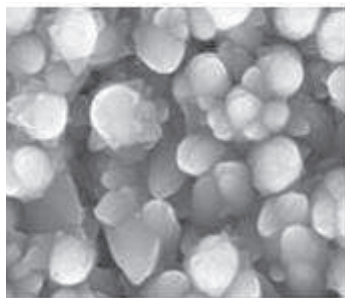


Fig. 2a

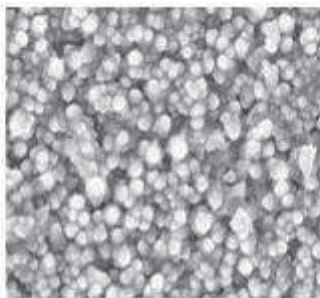


Fig. 2b

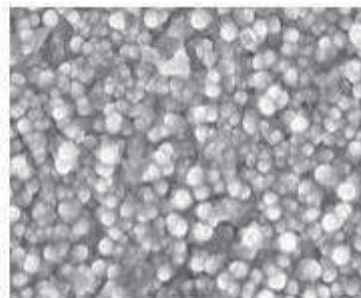


Fig. 2c

e grimcave në sipërfaqen e këtyre shtresave, nga pozitat relative të tyre, nga forma e tyre dhe nga kahet e orientimeve. Për këtë arsye qëllim kryesor i këtij punimi ishte përcaktimi apo identifikimi morfologjik i grimcave në sipërfaqen e shtresave të holla dhe identifikimi i vijave kufitare apo kontureve, formës dhe shpërndarjes së tyre.

3.2 REZULTATET E MORFOLOGJISË

MATEMATIKE OPTIKE

Konsiderojmë që metoda e morfologjisë matematike (MM) që ne këtu propozojmë e zbatuar në mënyrë optike është me shumë përparësi dhe se mundëson studimin e strukturave të shtresave të holla. Rezultatet e procesimit (përpunimit) morfologjik optik janë paraqitur në Figurat 3-5.

Fig. 3-a dhe b. përfaqësojnë rezultatet e procesimit MM të strukturave kristalore të paraqitura në imazhin në Fig. 2.a.

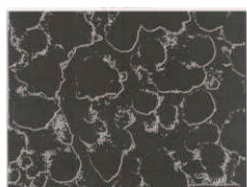


Fig. 3a

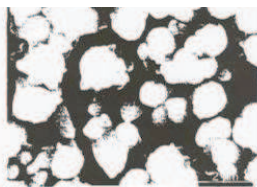


Fig. 3b

Në Fig. 3.a shihet rezultati i zbritjes së imazhit të nënshtruar operacionit të diletacionit dhe imazhit të eroduar. Në këtë rast erodimi dhe diletacioni janë realizuar me të njëjtin element strukturues (ES) përfaqësues simetrik 3X3 (një katror me 9 piksela, ku pikseli qendror i ka 8 piksele fqinjë). Këtu shihen strukturat kristalore të zeza të cilat kufizohen me vija të bardha. Përparësia e

këtij rezultatit të MM qëndron në faktin se janë vizualizuar konturet apo kufijtë e sistemeve kristalore me kufij të qartë dhe të mprehtë.

Në Fig. 3.b, ndërkaq, kemi të kundërtën: kufijtë janë më të zinj kurse strukturat kristalore janë më të bardha. Për këtë arsye ky rezultat i fituar me zbritjen e imazhit të eroduar nga imazhi origjinal që shihet në Fig. 2.a. jep informacione të vlefshme për shpërndarjen dhe format e kristaleve dhe sistemeve kristalore si dhe për orientimin e tyre. Trashësia e kontureve apo kufijve tregon një nivel të porozitetit apo hapësirave të dalluara ndërkristalore. Vrazhdësia e sipërfaqes së filmit të paraqitur në këtë mënyrë pas procesimit MM tregon faktin që shtresa e hollë në fjalë karakterizohet me koeficient më të vogël të reflektivitetit (të Frenelit) se në rastin kur boshtet janë pingule. Për ta rritur lëmueshmërinë e sipërfaqes kristalore të shtresës së hollë këtij lloji të preferohet veprimi gërryes (grapcuces) me anë të ndonjë reagenti kimik, siç është acidi sulfurik. Nga pjesët e bardha të strukturave kristalore shihen forma sferike, gjysmësferike dhe eliptike të sistemeve kristalore. Nga këto shpërndarje të pjesëve të bardha mund të shihet përfaqësimi edhe kahu i boshteve kristalore, i cili do të verifikohet më vonë në seksionin vijues me anë të difraksionit të rrezeve X.

Në Fig. 4.a shihen rezultatet e MM të fituara nga imazhi origjinal (Fig. 2.b), pas zbritjes së imazhit të diletuar dhe atij të eroduar. Për t'u parë lidhshmëritë e mundshme të kontureve apo kufijve ndërmjet sistemeve kristalore është bërë edhe një herë diletacioni i rezultatit të fituar. Në këtë mënyrë janë theksuar lidhjet e mundshme të kontureve. Operacioni MM i zbatuar në këtë mënyrë realizon edhe parashikimet e zhvillimit

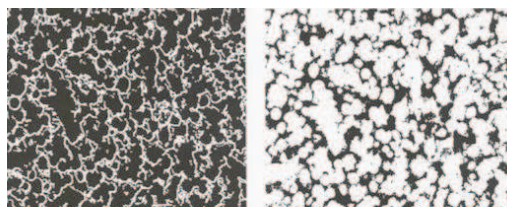


Fig. 4a

Fig. 4b

apo formimit të mëvonshëm të kufijve apo kontureve nëse do të bëhej vazhdimi i depozitimit kristalor. Pra kështu vërtetohet edhe roli i MM-së, e cila përfaqëson një simulim matematikor, por që parashikon zhvillime të mundshme reale të fizikës gjatë depozitimit të mikrostrukturave kristalore në sipërfaqe të qelqta apo metalike. Në Fig.4.b është paraqitur rezultati i zbritjes së imazhit origjinal (që shihet në Fig. 2.b) nga forma e tij e eroduar. Në fund imazhi origjinal (që shihet në Fig. 2.c) i është nënshtruar procesimit MM.

Në Fig.5.a shihet rezultati i zbritjes së imazhit të diletuar dhe atij të eroduar. Në Fig. 5.b, ndërkaq, është paraqitur rezultati i zbritjes së imazhit të eroduar nga origjinali.

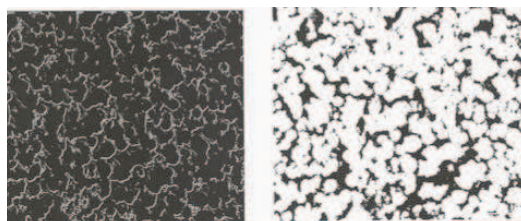


Fig. 5a

Fig. 5b

Në Fig. 6 është paraqitur tabloja e difraksionit me rreze X (tabloja DRX) e shtresës së hollë prej ZnO (Fig. 2a). Këtu në ordinatë kemi intensitetin relativ I kurse në abshisë këndin 2θ , ku θ paraqet këndin e rënies të rrezeve X me të cilat është skanuar shtresa e hollë prej ZnO. Siç shihet, maksimumi kryesor (me vlerë relative 1) i intensitetit të dritës së difraktuar shfaqet për këndin e difraksionit $2\theta = 34.55^\circ$, për orientimin (002) të boshteve të kristalit. Maksimumet e tjera më të vogla se 1 u përkasin orientimeve të tjera, si: (100), për këndin 31.85° , (101), për këndin 36.35° , (102), për këndin 47.6° , (110), për këndin 56.85° etj.

Rezultati i DRX konfirmon faktin që orientimi i boshtit të grimcave nuk është (001), sipas indekseve të Milerit, përkatësisht ekziston një ori-

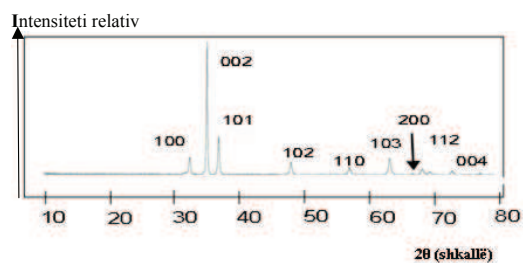


Figura 6. Tabloja e difraksionit me rreze X e shtresës së hollë prej ZnO (Fig. 2a)

entim statistikor i grimcave të cilat nuk shënojnë një verticalitet të plotë mbi rrafshin e shtresës së hollë. Meqë metoda e rrezeve X është e mirënjohur për zbatime për hulumtimin strukturor të shtresave të holla, me konfirmimin e kahut të orientimit të grimcave të shtresave të holla, metoda që ne propozojmë vërtetohet po ashtu si efikase për analizën dhe karakterizimin e shtresave të holla gjysmëpërçuese.

4. PËRFUNDIM

Është me vlerë shumë praktike përcaktimi i vetive strukturore, përkatësisht i ndryshimeve fazore që shfaqen gjatë procesit të depozitimit të shtresave të holla gjysmëpërçuese. Me anë të refraktometrisë dhe difraksionit të rrezeve X ka mundësi të përcillen ndryshimet strukturore si dhe defektet e mundshme gjatë rritjes së shtresave të holla gjatë procesit të depozitimit. Zbatimi i MM që ne propozojmë, në mënyrë komplementare me metodat e përmendura, mundëson një identifikim të qartë të strukturës së grimcave të shtresave të holla. Në këtë mënyrë arrihet një kompozicion i dizajnuar optimal dhe një procedurë e kontrolluar gjatë procesit të formimit të shtresave të holla duke përcjellë ndryshimet e materialit nga i cili ato ndërtohen. Analiza morfologjike matematike e zbatuar në mënyrë optike në imazhin e shtresës së hollë dhënë në Fig. 2.a dhe analiza me anë të difraksionit të rrezeve X e zbatuar në të njëjtën shtresë të hollë kanë vërtetuar të njëjtën gjë: që orientimi i grimcave nuk është plotësisht normal (pingul) me boshtin normal mbi rrafshin e shikimit apo nënshtrësës bazë mbi të cilën depozitohet shtresa e hollë e materialit gjysmëpërçues. Kjo vërteton komplementaritetin e metodës së difraksionit të rrezeve

X dhe metodës së matematikës morfologjike të zbatuar në mënyrë optike. Kjo vërteton efikasitetin e metodës që ne propozojmë për fabrikimin praktik të shtresave të holla gjysmëpërçuese.

BIBLIOGRAFIA

1. YAMAMATO T., YOSHIDA H.: *Physics B* 302, **303**, 312 (2001).
2. LORENZ M., JOHNE R., NOBIST., HOCHMUTH H., LENZNER J., and GRUNDMANN M.: *Appl. Phys. Lett.* **89**, 243510 (2006).
3. CRACIUN V., ELDERS J., GARDENIERS J.G.R., BOYD I.W.: *Appl. Phys. Lett.* **65**, 2963 (1994).
4. TAN S.T.; CHEN B.J., K X.W., YU M.B. et al.: *Journal of Electronic Materials*, **4**, 303 (2003).
5. CALL R.L., SESCHAN N.K.Jr.: *Solar Energy Mater.* **2**, 373 (1980).
6. RISTOV M., SINADIMOVSKI G.J., GROZDANOV I., TITRESKI M.: *Thin solid films*; **149**, 65 (1987).
7. MINNE S.C., MANALIS S.R., QUATE C.F.: *Appl. Phys. Lett.* **67**, 3918 (1995).
8. HUANG M.H., MAO S., FECK H., YAN H.Q., WU Y.Y., KIND H., WEBER E., RUSSO R., YUNG P.D.: *Science* **292**, 1897 (2001).
9. JONSON J.C., JAN H.Q., SCHALLER R.D., HABER L.H., SAYKALLY R.J., YANG P.D.: *J. Phys. Chem. B* **105**, 11387 (2001).
10. LIU C.H., ZAPIAEN J.A., YAU Y., MENG X.M., LI C.S., FAN S.S., LIFSHIS Y., LI S.T.: *Adv. Mater.* **15**, 838 (2003).
11. GORA C.R., EMANETOGLU N.W., LIANG S., MAYO W.E., LI Y., WRABACK M., SHEN H.: *J. Appl. Phys.* **85**, 2595 (1999).
12. MITRA P., KAHN J.: *Chem. Phys.* **98**, 279 (2006).
13. RAMGIR N.S., LATE D.J., BHISE A.B., MULLA I.S., MORE M.A., JOANG D.S., PILLAI V.K.: *Nanotechnology*, **17**, 2730 (2006).
14. MATHERON G.: *Random Sets and Integral Geometry*. Wiley, New York, (1975)
15. SERRA J.: *Mathematical Morphology, Theoretical Advances*, Vol. 2. Academic Press (1988).
16. STERNBERG S.: "Grayscale Morphology" *Comput. Vis. Graph. Image Process.* **35**, 333-355 (1986).
17. CASASANT D.: "Optical morphological processors", *Proc. SPIE*, Vol. **1350** (1990).
18. CASASANT D., SHEAFER R. and KOKAJ J.: *Proc. SPIE*, **1385** (1990).
19. KOKAJ J. Morphology Processing of a bubble in LISWL, *Intelligent Robots and Computer Vision* **4**, (98-106), 2000.
20. GOODMAN W.J.: *Introduction to Fourier optics*, McGraw-Hill, (1996).