

ÎNCERCĂRI DE PERFORMANȚĂ PENTRU CARACTERIZAREA UNUI DISPOZITIV MEMS

Florin Teodor TĂNĂSESCU¹, Gheorghe ȘTEFĂNESCU¹, Cristinel ILIE²,
Marius POPA², Sergiu DUMITRU³

¹Comitetul Electrotehnic Român (CER), ² INCD IE (ICPE-CA), ³ INCDMTM

REZUMAT. Plecând de la soluția constructivă pentru un dispozitiv microelectromecanic (MEMS), autorii își propun să dezvolte un program de încercări care să permită stabilirea nivelului de performanță pentru un dispozitiv de acest tip. Se analizează standardele existente elaborate de CEI în domeniul MEMS, ca și unele norme de firmă, semnalându-se din acestea elemente care pot fi extrapolate. Sunt prezentate o serie de încercări de natură optică, mecanică sau electrică ce pot furniza informații asupra proprietăților dispozitivului, indicându-se și aparatura specifică acestor încercări. Datele furnizate constituie o bază de date utilă pentru proiectanți sau pentru elaborarea în viitor a unui standard de produs.

Cuvinte cheie: standard, încercare, dispozitiv MEMS.

ABSTRACT. Based on the design for a micro-electromechanical (MEMS) authors aim to develop a program attempts to establish his level of performance for a device of this type. It examines existing standards developed by IEC in MEMS as some firm rules, signaled they are the elements that can be extrapolated. They presented a series of optical, mechanical or electric test which can provide informations on the properties of the device, indicating the specific equipment and such tests. The results are useful for designers or for future development of a standard product.

Keywords: standard test MEMS device.

1. OBIECTIVUL ARTICOLULUI

Domeniile de vârf în care dispozitivele MEMS au aplicații asigurând funcționări la nivel de micro și nanodimensiuni: cazul Roboticii, Tehnologiei informației, Tehnicii aerospatiale, al Medicinii și Biologiei, Industriei auto, impun o cunoaștere cât mai completă a performanțelor de material și a celor de funcționare, nevoia de a le standardiza asigurând dispozitivului MEMS performanțe repetabile, interschimbabilitate, posibilitatea de a trece de la aplicații particulare la aplicații pe scară largă [1-4].

Autorii lucrării își propun ca plecând de la soluția constructivă aleasă pentru dezvoltarea unui dispozitiv MEMS electromagnetice și în situația lipsei unui standard de produs, să analizeze în lumina reglementărilor apărute până la această dată în CEI, care din prevederile acestora pot fi utilizate [5] și să propună un program de încercări care să furnizeze date suplimentare celor selectate, utilizabile pentru determinarea performanțelor care caracterizează un dispozitiv MEMS, posibilitatea elaborării în viitor a unui standard MEMS.

Constituirea unei bănci de date cuprinzând rezultatele acestor încercări, furnizează proiectantului date

utile în dezvoltarea unui asemenea dispozitiv MEMS, evaluarea performanțelor, alegerea celor mai potrivite materiale și tehnologii pentru optimizarea unei soluții.

2. SISTEMELE MEMS: DIVERSITATE ȘI PARTICULARITĂȚI CONSTRUCTIVE, PRECIZII ȘI APLICAȚII

Sistemele MicroElectroMecanice (MEMS) sunt structuri mecanice dispuse în general pe plachete din siliciu sau alte materiale – utilizând în general procese tehnologice specifice Circuitelor Integrate – cuplate cu structuri electrice și mecanice, prin asocierea lor asigurându-se funcții complexe cu caracter electro-mecanic în domeniul micro și nanometrilor.

Principiile după care sunt realizate Sistemele MEMS sunt diferite: electrostatice, magnetice și electromagnetice, optice și microoptice, chimice, fluidice, de unde și dificultatea de a avea prea multe elemente comune posibil a fi standardizate. În prezent, cu excepția câtorva standarde de MEMS-produs, există doar standarde care se referă la metodele de încercări ale unor straturi subțiri utilizate în construcția

de Sisteme MEMS, care pot fi extrapolate în cazul unor construcții particulare.

Procesul mai îndelungat de realizare a unui standard care poate întârzia lansarea pe piață a unui produs, este suplinit de firmele producătoare prin dezvoltarea unor norme interne având la bază programe proprii de încercări sau folosind date validate de alte laboratoare, norme care au o valabilitate limitată până la apariția standardului definitiv [6-9]; programul de încercări propus în lucrare permite și el atingerea unui asemenea obiectiv.

Proiectarea unui dispozitiv MEMS în scopul atingerii unui anumit nivel de performanțe presupune o alegerea corectă a celor mai potrivite materiale, selectarea unor tehnologii specifice de realizare, stabilirea unui program de încercări apt să valideze elementele de calcul și să furnizeze date viabile pentru dezvoltări viitoare.

Complexitatea și marea varietate a dispozitivelor MEMS existente astăzi pe piață se reflectă și asupra tehnologiilor de încercare, unele comune diverselor tipuri de dispozitive altele specifice unui anumit tip de MEMS. De aici și explicația numărului redus de standarde elaborate de Subcomitetul Tehnic 42 F al CEI (19 Standarde) [5].

În afara costului ridicat al încercării, trebuie arătat că realizarea unor epruvete necesare pentru efectuarea unor încercări mecanice este deosebit de complexă – adesea la același nivel dimensional ca al sistemelor MEMS – precum și a dispozitivelor de prindere pe echipamentul de încercare, care de cele mai multe ori presupune execuția unor adaptări dificile și costisitoare. După Tong [1], costul încercărilor la dezvoltarea unui MEMS poate reprezenta în unele cazuri cca. 1/3 din costul dispozitivului, de unde și nevoia selectării acelor încercări care sunt determinante pentru performanțele unui sistem MEMS, utilizarea unor date de material/tehnologii validate în alte laboratoare.

Varietatea aplicațiilor în Robotică, Tehnologia Informației, Optică și Microoptică, Tehnica aerospațială, Medicină și Biologie, Industria auto, ascunde atât diversitatea tehnologiilor întâlnite în procesul de fabricație a unor MEMS, cât și a tehnologiilor de încercare.

O prioritizare a încercărilor care trebuie făcută pentru caracterizarea sistemului MEMS este necesară datorită costului lor, a complexității și timpului, standardizarea urmând a fi propusă acolo unde acest lucru este recomandat a fi făcut.

În paralel cu această tendință semnalată pe plan mondial de a extinde activitatea de standardizare a unor procedee tehnologice și metode de testare, trebuie remarcată preocuparea unor mari firme de a dezvolta – până la apariția unor standarde cu aplicabilitate generală și recunoscute de toți – propriile norme de încercare (SEMI, Polytec, Sandia, Fraunhofer, Bosch).

3. STADIUL STANDARDIZĂRII ÎN DOMENIUL MEMS

În cadrul Comisiei Electrotehnice Internaționale (CEI) există Subcomitetul 42 F, având titulatura Semiconductor Devices, Micro Electromechanical Devices, care a elaborat până la această dată un număr de 19 standarde și are în pregătire în următorii 2 ani, încă 8 standarde. În tabelul 1 este prezentată lista acestor standarde valabile la această dată.

O analiză a acestora arată faptul că ele reprezintă în mare parte adaptări ale unor standarde apărute în domeniul semiconductoarelor, legat în special de placheta de Siliciu și tehnologiile de depunere în strat subțire, adaptate la construcțiile de MEMS care pot fi realizate după tehnologii și practici asemănătoare.

O analiză a tematicilor abordate în aceste 19 standarde existente în CEI, permit o grupare a lor în:

- standarde privitoare la terminologia domeniului
- standarde destinate metodelor de încercări menite a caracteriza proprietățile de material, realizarea de epruvete, testare straturi subțiri
- standarde de produs (RF MEMS, Filtre și Duplexoare BAW, accelerometre, giroscopae).

Se poate afirma că există pusă la punct o serie de metode generale de caracterizare a unor proprietăți de material, modul de realizare a unor epruvete pentru evaluarea rezistenței la tracțiune, forfecare, încovoiere, flexiune, vibrații, topografia suprafeței, etc.

Pentru cazul particular al unei anumite construcții de MEMS – spre exemplu pentru un MEMS electromagnetic – nu există încă un standard de produs dar din analiza standardelor existente se pot extrage unele soluții parțiale, la care să se adauge teste de referință practicate de alte firme, sau date proprii rezultate din programul de încercări propus pentru un MEMS ce urmează a fi dezvoltat.

Se conturează în plan internațional cu o tot mai înaltă insistență nevoia de standardizare „is need of standardisation” [6-9] ținând seama de domeniile tot mai variate în care Sistemele MEMS pătrund și a unei piețe care deja astăzi este evaluată a fi de ordinul câtorva zeci de mld \$.

Sistemele MEMS nu înseamnă doar mai mic și cu funcții multiple, ci și posibilitatea de utilizare a unor fenomene care apar la microscară în cadrul structurilor, care trebuie cunoscute de proiectant, întrucât tehnologiile practicate în acest domeniu, se depărtează de cele cu care s-a operat până acum.

Se conturează tot mai clar ideea că Mecanica tradițională de încercare a materialelor nu se poate aplica în mod identic la microstructuri din componența unor Sisteme MEMS, prin extrapolarea unor modele întâlnite la macrostructuri, de unde și nevoia

ÎNCERCĂRI DE PERFORMANȚĂ PENTRU CARACTERIZAREA UNUI DISPOZITIV MEMS

elaborării unor standarde de încercări specifice acestui domeniu. Proprietăți precum inițierea distrugerii, oboseala, alte solicitări combinate, se apreciază ca

sunt diferite la nivelul de nano scală a microstructurilor față de cele existente la mezoscală, de unde și nevoia unor programe de testări cât mai complexe.

Tabelul 1. Standarde CEI în domeniul MEMS

1. IEC 62 047-1/2005, Termeni și definiții, Dispozitive Microelectromecanice (MEMS)
2. IEC 62 047-2/2006, Metode de încercare la tracțiune a materialelor în strat subțire
3. IEC 62 047-3/2006, Epruveta de încercări standardizată în strat subțire, pentru încercarea la tracțiune
4. IEC 62 047-4, Specificații generice pentru MEMS
5. IEC 62 947-5, Întrerupător MEMS, Radio frecvență
6. IEC Metoda de încercare la oboseală axială a materialului în strat subțire
7. IEC 62 047-7/2011, Filtre și Duplexor BAW MEMS pentru comanda și alegerea frecvențelor radio
8. IEC 62 047-8, Metoda de încercări la flexiune a benzilor în vederea măsurării proprietăților de tracțiune a straturilor subțiri
9. IEC 62 047-9, Dispozitive MEMS, Măsura rezistenței de colaj a două plachete pentru MEMS
10. IEC 62 047-10, Încercări de compresiune utilizând tehnica picopilonilor
11. IEC 62 047-11, Metoda de încercare pentru coeficienții de dilatare termică lineară a materialelor autonome pentru Sisteme MEMS
12. IEC 62 047-12, Metode de încercare la oboseală la flexiune a materialelor în strat subțire utilizând vibrațiile la rezonanță a structurilor
13. IEC 62 047-13/2012, Încercări tip încovoiere și forfecare, măsurarea rezistenței la adeziune
14. IEC 62 047-14/2012, Metoda de măsură a limitelor de formare a materialelor în strat metalic
15. IEC 62 047-18/2013 – 16/2013, Metode de încercare la flexiune a materialelor în strat subțire
16. IEC 62 047-9, Compas electronic
17. IEC 62 047-20, Giromotoare
18. IEC 62 047-1, Metode de încercări relativ la Coeficientul Poisson al materialelor în strat subțire pentru MEMS
19. IEC 62 047-22, Metoda de încercări la tracțiune electromecanică pentru straturi subțiri conductive.

De aici, rezultă un lucru de urmărit la proiectarea unui Sistem MEMS și anume: cunoașterea prevederilor existente astăzi în standardele elaborate, utilizarea unor date validate din experiența unor mari firme, precum și propriile programe de încercări care pot oferi date de proiectare sau de evaluarea a nivelului de performanță.

Interesul tot mai ridicat al marilor firme lucrând în acest domeniu, anticipă o intensificare a activității de standardizare existând chiar posibilitatea de a transforma unele norme de firmă ca standarde experimentale.

4. PROGRAMUL DE ÎNCERCĂRI PROPUȘ

Proiectarea unui dispozitiv MEMS electromagnetic care urmează a fi dezvoltat de colectiv presupune ca în afara metodicii de proiectare și stabilirea tehnologiilor de realizare a dispozitivului trebuie gândit și propus un program de încercări care prin datele obținute să contribuie la formarea unei bănci de rezultate folosibile la dezvoltarea unor norme/standarde. Metodele de încercare pentru dispozitivele MEMS și instrumentația necesară, depind la ce nivel se face încercarea: la nivel de plachetă sau dispozitiv împachetat și de aici și volumul de încercări care se prevede.

La încercarea unui dispozitiv MEMS datorită particularității unor construcții standardele elaborate până la această dată sunt standarde care definesc cerințe de testare a unor straturi subțiri – mai puțin pentru straturi groase – și în câteva cazuri, dezvoltarea unor standarde de produs MEMS, după cum urmează:

- Standard CEI 62 947-5: MEMS, pentru întrerupător, Radio frecvență;
- Standard CEI 62 047-7 P: Filtre Duplexor BAW MEMS pentru comanda și alegerea frecvențelor radioelectrice;
- Standard CEI 62 047-19: Compas electronic;
- Standard CEI 62 047-20: MEMS – Giroscoape.

În aceste condiții, la stabilirea unui program de încercări pentru un dispozitiv MEMS care urmează a fi dezvoltat și pentru care există o experiență de proiectare anterioară /10-11/, se va încerca ca prin programul de încercări propus să se efectueze și să se culeagă date care să permită în viitor dezvoltarea unui normativ/standard de produs. Pentru dispozitivul MEMS care urmează a fi dezvoltat de colectiv și având cumulate în construcția sa elemente aparținând atât tehnologiei straturilor subțiri/groase, cât și a unor micro și nanotehnologii specifice, colectivul va selecta din standardele existente la această dată, elemente și concepte care sunt aplicabile și în acest caz, adăugând la acestea pe cele care rezultă din experiența altor firme sau a celor proprii și care pot

determina funcționalitatea sau verificarea preciziei unor tehnologii elaborate de colectiv în domeniul microuzinei.

În condițiile în care nu există încă o normă de produs ci în cele mai fericite cazuri norme de firme, în demararea programului de încercări vor fi analizate și o serie de încercări elaborate de firme precum SEMI, Polytec, Fraunhofer, Bosch.

Încercările care prin efectuarea lor pot da indicații asupra nivelului de performanță sunt:

- de natură optică (dau informații și permit caracterizarea unui Sistem MEMS în timpul procesului de dezvoltare, permițând efectuarea unui număr ridicat de testări privind dimensiunile, grosimea filmului, secțiunii, rugozității, solicitări la acțiuni mecanice, determinarea modulului de elasticitate, aflarea timpului de răspuns, frecvența de rezonanță, dilatarea termică, s.a.)

- de natură mecanică (pentru caracterizarea unor materiale din structura aleasă: rupere, tracțiune, flexiune, forfecare, adeziune, dilatare termică)

- de natură electrică (oferă date asupra funcționalității MEMS)

- de natură climatică (se obțin date privind funcționarea în condiții climatice diferite: frig, cald, ceață salină, umiditate).

În cele ce urmează, întrucât în majoritatea cazurilor încercările electrice și climatice se fac pe produsul final și există o practică a testării, se vor prezenta încercările de natură optică și mecanică, acele încercări care pot da informații asupra unor parametri care pot caracteriza un Sistem MEMS și pentru care există o bază de testare performantă: Interferometru laser AGILENT 10766, Microscop electronic de transmisie HRTM, Echipament pentru investigarea caracteristicilor mecanice pentru straturi subțiri NHT–MHT–MST, Echipament de caracterizare tribologică a straturilor subțiri, Microscop Electronic de baleiaj cu tunelare pentru studiul topografiei suprafețelor, Elipsometru UVISEL, Microscop de forță atomică, Sisteme de măsurare și calibrare-interferometrie laser, Aparat pentru verificarea profilului suprafeței (KOSAKA), Sistem de măsurare micro și nanoposiționări în coordonate (model TWINNER – Elveția).

Stabilirea unor priorități în programul de încercări va trebui făcută după importanța lor în definirea performanțelor unui sistem MEMS, întrucât încercările sunt laborioase, costisitoare, iar pregătirea epruvetelor în conformitate cu normele cere un mare volum de muncă și nivel de execuție similar adesea cu realizarea unui MEMS, impunându-se o selecție a acelor de efectuat. Cu aceste echipamente se propune definirea unor caracteristici după cum urmează.

4.1. Încercări de natură mecanică

Încercările mecanice sunt necesare a fi făcute întrucât dau informații utile pentru proiectarea unui dispozitiv MEMS întrucât definesc:

- performanțele viitoare ale dispozitivului (proprietățile mecanice ale diverselor componente fiind strâns legate de ale dispozitivului);

- fiabilitatea (o consecință a acestor proprietăți).

Proprietățile de evaluat sunt proprietăți elastice (Modul Young, Coeficient Poisson, ele determinând în mod direct performanțele dispozitivului MEMS sau de rupere, oboseală s.a.).

4.1.1. Caracterizarea tribologică a straturilor subțiri – la oboseală axială și flexiune

Are ca scop **obținerea de informații privind frecarea și uzura** și se poate face cu un echipament de caracterizare tribologică NHT, MHT, MST. Sistemul de aparate permite și obținerea altor informații privind duritatea, modulul de elasticitate, rezistența la zgâriere. Încercările se fac pe straturi subțiri/groase din materiale anorganice și metalice, materiale magnetice, ceramice sau polimeri, materiale pentru care testarea este necesară, funcție de soluțiile adoptate. Există o practică a multor firme care în scopul limitării numărului de încercări, folosesc date de catalog a unor materiale testate în aceste condiții, reducând numărul de încercări și utilizarea unor materiale care asigură performanțele cerute de proiectant.

Standardele existente CEI 62 047 -6 (Metode de încercare la oboseală axială a materialelor în strat subțire) și CEI 62 047-8 (Metoda de încercare la flexiune a benzilor în vederea măsurării proprietăților de tracțiune a straturilor subțiri) dau indirect unele informații utile privind frecarea și uzura, precum și metodologia de încercare, informații de care se va ține seama în derularea programului de încercări. Straturile subțiri pot fi realizate din metale, materiale magnetice, organice, ceramice, compozite, depuse pe forme cilindrice sau paralelipipedice.

Primul standard specifică metoda de adoptat privind încercarea la oboseală axială a materialelor în strat subțire la forțe de tracțiune axială. Dimensiunile epruvetei: lungime și lățime sub 1mm și grosime cuprinsă între 0,1 – 10 microni, anticipă dificultăți în execuția epruvetei dar și a dispozitivelor care permit adaptarea ei la dispozitivul de încercare. Utilizarea unor materiale și tehnologii care garantează un anumit nivel de performanțe, poate fi abordată în paralel cu programul de încercări.

Cel de al doilea standard specifică metoda de încercare la flexiune a benzilor și măsurarea proprietăților de tracțiune, realizarea epruvetei este mai

ușoară decât în cazul anterior, iar modul de suspendare a ei este mai simplu.

În afara standardelor menționate, vor fi analizate și date comunicate de firme. / 6-9 /

Sistemul de aparate care va permite efectuarea acestor încercări este echipat cu modul de micro-identare cu masă de lucru, soft pentru caracterizarea aderenței modulului de elasticitate, zgârierii, iar prin tribometrul prevăzut, sistemul de încărcare și modulele de testare, frecarea și uzura straturilor subțiri utilizate, adâncimea de uzură.

4.1.2. Verificarea la oboseală datorită flexiunii materialelor în strat subțire

Utilizează vibrațiile la rezonanță a structurilor sistemelor MEMS (în conformitate cu standardul CEI 62047-12 se face utilizând vibrațiile la rezonanță a structurilor Sistemelor microelectromecanice MEMS analizată cu un echipament de caracterizare tribologica a straturilor subțiri [5]. Standardul se aplică structurilor vibrante a căror mărime se află în gama mergând de la 10 micrometri la 1000 micrometri în plan și 1-100 micrometri în grosime ca și materialelor destinate încercării măsurând mai puțin de 1 mm lungime, mai puțin de 1 mm lățime și între 0,1-10 micrometri grosime.

Materialele utilizate în realizarea unui MEMS au dimensiuni de ordinul micrometriilor, sunt realizate de regulă prin tehnologii de depunere și nu prin uzină mecanică. Scopul încercării este de a evalua proprietățile materialului în condiții de oboseală mecanică a materialului la scară micro și la durate mici de timp, aplicând o sarcină care asigură o valoare ridicată a flexiunii și la un ciclu de frecvență înaltă utilizând vibrații la rezonanță. Încercările care pot fi efectuate, vor verifica:

- amplitudinea vibrațiilor;
- frecvența vibrațiilor;
- forma undei;
- timpul de încercare;
- încercările de mediu;
- măsura uzurii (cu profilometrul tip STYLUS existent);
- măsura rezistenței contactelor electrice.

4.2. METODE DE NATURĂ OPTICĂ

4.2.1. Determinarea vibrațiilor, deplasărilor -micro și nano- a unui dispozitiv MEMS

Se face în conformitate cu prevederile înscrise în Standardele CEI /5/, utilizând un interferometru AGILENT 10 760, apt să permită determinarea

vibrațiilor și nanodimensiunile unui dispozitiv MEMS cu o rezoluție de 10 nm. Franjele de interferență care apar în timpul încercării se deplasează proporțional cu mișcarea dispozitivului și prin măsurarea timpului de schimbare a distanței dintre franjele succesive, se fac aprecieri asupra deplasării. Vibrometria laser este o tehnică noncontact și nu este afectată de proprietățile suprafeței sau de condițiile de mediu. Determinările posibil a fi efectuate sunt:

- determinarea vibrațiilor;
- determinarea deplasărilor;
- determinarea curburii;
- încercări de oboseală.

4.2.2. Măsurători pentru stabilirea topografiei suprafețelor

Se fac o serie de măsurători cu ajutorul unui Microscop electronic cu tunelare menit a da informații privind topografia suprafeței. Rezultatele scontate vor fi:

- informații privind topografia prin imagistica 3D, a proprietăților fizice ale suprafeței materialului (rugozitate, profil)
- morfologie de suprafață
- evaluarea topologică privind proprietăți de elasticitate, fricțiune și adeziune a suprafețelor tribologice, proprietăți magnetice;
- proprietăți electrice ale suprafeței (rezistivitatea locală, densitate locală, stări electronice);
- evaluarea structurii de domenii magnetice.

Măsurarea rugozității suprafeței și a profilului se poate face în paralel și cu profilometru sau cu Microscopul de forță atomică-AFM. Sistemul AFM poate da informații asupra parametrilor mecanici, curba rezistenței mecanice funcție de forță, informații tribologice asupra forțelor de adeziune.

4.2.3. Studiul structurii unui strat subțire

Straturile subțiri pot fi realizate din materiale metalice, magnetice, organice, ceramice, compozite iar caracterizarea lor poate fi făcută efectuând:

- măsurători noncontact pentru determinarea constantelor optice;
- măsurarea grosimii;
- determinarea componenței materialului.

În situația în care o anumită caracteristică poate fi determinată utilizând aparatură diferită, se vor efectua în paralel încercări comparative, în vederea alegerii celei mai potrivite metode. Aparatura de măsură este un ELPSOMETRU UVISEL.

5. CONCLUZII

- Cunoașterea caracteristicilor de material care intră în construcția unui dispozitiv MEMS este esențială pentru definirea performanțelor finale ale produsului. Domeniu nou și complex prin natura fenomenelor care stau la baza lui dar și a dimensiunilor micro și nano cu care se operează, volumul insuficient de date care să permită dezvoltarea de standarde, explică nevoia de dezvoltare a unor programe de măsurători care să dea informații utile pentru o corectă proiectare.

- Varietatea pe care o prezintă diversele construcții de Sisteme MEMS și insuficiența datelor de care se dispune fac dificilă o activitate de standardizare care să permită unificarea metodologiilor, elaborarea de standarde de material sau pentru tehnologiile de încercare. În această situație marile firme din domeniul MEMS desfășoară programe de încercări care să dea în final date validate și utile pentru dezvoltarea domeniului, inclusiv la dezvoltarea de standarde. De remarcat schimbul de rezultate comunicate în literatura tehnică, preocuparea pentru ca din încercările efectuate să se selecteze date utile pentru viitoare standarde.

- În concordanță cu tendințele semnalate în lume, colectivul își propune derularea unui program de măsurători din care să se selecteze date utile pentru proiectarea și verificarea performanțelor unui dispozitiv MEMS.

- Programul de lucru al Subcomitetului CEI 42 F care în afară de cele 19 standarde existente are în pregătire încă 8 până în anul 2016, dovedește interesul firmelor de a standardiza. La acest efort se

adaugă preocuparea firmelor din domeniul MEMS de a elabora norme proprii care urmăresc obținerea de date care să permită o viitoare standardizare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Tong Go: *Characterisation Based on Optical Measuring Methods*. www.interchopen.com
- [2] *** Standardisation plays an important role in MEMS Integration (2012). www.conventor.com/standardisation-plays-an-important-role-in-MEMS
- [3] Karen Lightman: *How can MEMS standardisation Help*. In sensors of Line <http://sensorsmag.com/sensors-mag/how-can-mems-standadisation-help>
- [4] Bryon Mayer: *In search of MEMS Standards*. <http://www.eejournal.com/archives/articles>
- [5] Seria de standarde ale SC 42 F, Semiconductor Devices, System MEMS, Seria de standarde 62047 (1 – 22). www.iec.ch
- [6] *** Doc Polytec (Optical measurement). www.Polytec
- [7] *** Reality, Testing & Characterisation Sandia, www.mems.sandia.gov
- [8] MEMS tests and Characterisation <http://www.tyndal.ie/content/mems-test-and>
- [9] *** *MEMS testing*. Chapter 13, Booksite, Elsevier, com/9780123739735.casestudies.
- [10] C. Ilie, M. Popa, P. Prioteasa, I. Chirita, N. Tănase, *Application of LIGA Technology for the Development of Micromechanical Systems*, UPB Scientific Bulletin, Vol. 73, Iss 2, 2011, ISSN 1454-2358, p. 137-150.
- [11] Cristinel Ilie, Daniel Comeaga, Octavian Dontu and Marius Popa, *Micro Parts Errors to Precision Manufacturing Using UV-LIGA,Technology*, 4th International Conference on Manufacturing Science and Technology, ICMST 2013, Dubai, UAE, published in *Advanced Materials Research* Vols. 816-817 (2013) pp 237-241© (2013), Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.816-817.237.