



**Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași**

**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia  
Informației**

**Referat la Sisteme microelectromecanice (MEMS)**

**Metode de testare a MEMS-urilor**

**Profesor coordonator:**

**șef lucrări doctor inginer Daniela Derevlean**

**Student:**

**Albu Nicoleta-Iustina**

# Cuprins

## **1.Introducere**

## **2. Testarea MEMS-urilor**

### **2.1.Tipuri de teste**

#### **2.1.1.Teste de soc**

#### **2.1.2.Teste de vibratie**

## **3. Diferite tehnologii de testare**

### **3.1.Microscopia fortei atomice**

### **3.2.Microscopia confocala**

### **3.3. Microscopia holografica digitala**

### **3.4.Microscopia optica**

## **4.Componentele sistemului de test**

### **4.1.Echipamentul de testare automata**

### **4.2. Unitatea de manipulare**

### **4.3.Interfata electrica**

### **4.4.Platform de testare**

## **5.Concluzii**

## **6.Bibliografie**

# 1. Introducere

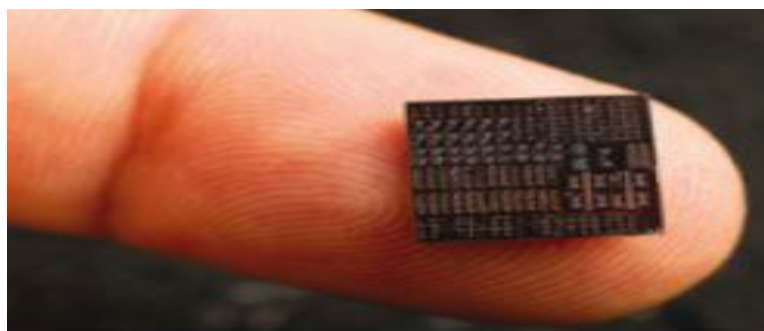
Un **sistem micro electro-mecanic** este un dispozitiv format din diferite componente (mecanice, electrice și electronice) de dimensiuni extrem de reduse, integrate pe un strat de siliciu. Acest tip de sistem semiconductor este capabil să combine capacitățile de calcul ale microelectronicii cu capacitățile de percepție și control ale micro-senzorilor și micro-actuatorilor. Marele avantaj al acestor microsisteme integrate este acela că pot fi realizate compact, dimensiunile acestora fiind de ordinul micrometrilor. După ce senzorii achiziționează datele de la stimuli, intervine modulul electronic care are rolul de a procesa aceste date, ca în cele din urmă, să fie generate anumite comenzi la ieșirea sistemului funcție de rezultatul procesării datelor.

Odată ce sistemele micro-electro-mecanice pot procesa funcții optice, chimice, termice, electronice, mecanice și biologice, acestea pot opera ca dispozitive precum accelerometre, senzori de presiune, microfoane, giroscopae, etc., cu posibilitatea combinării mai multor funcții pe același microsystem. Acestea sunt utilizate extensiv în câteva domenii, cum ar fi : automotive, electronică, bunuri de larg consum, tehnologie.

Sistemele micro-electro-mecanice necesită un înalt nivel al cunoștințelor de fabricare respectiv proiectare, pentru a crea componente funcționale conform cerințelor, având dimensiuni cât mai compacte.

Pe de parte, toate sistemele micro-electro-mecanice sunt formate din microcomponente dispuse pe un strat subțire de silicon. Aceste microsisteme sunt dispuse pe stratul de silicon, dar procesul de fabricare constă în parcurgerea mai multor etape. În afară de silicon și arseniură de Ga, cele mai utilizate în industria semiconductoră, alte materiale precum quartz-ul, materiale piezoelectrice, Pyrex, polimeri, plastice și ceramice sunt utilizate frecvent.

Deoarece sistemele micro electro-mecanice sunt fabricate cu ajutorul altor dispozitive electronice, fabricarea respectiv costul materialelor trebuie menținute la un preț relativ mic. Din acest motiv, pentru a menține costurile cât mai reduse, aceste teste sunt efectuate utilizând celule de test a sistemelor micro electromecanice (**MTC – MEMS Test Cells**).



**Cip MEMS**

## 2. Testarea MEMS-urilor

**Testarea MEMS-urilor** nu este altceva decât o artă. Îți trebuie pricepere, precizie, îndemânare și răbdare pentru a ajunge la un rezultat conform așteptărilor.

În acest moment, există 2 modalități de testare a sistemelor micro electromecanice :

- ✓ **Testare pe bandă** (microsistemele sunt dispuse grupat așa cum sosesc de la procesul de fabricație)
- ✓ **Testare singulară** (fiecare microsistem este testat separat)

Prima modalitate de testare este aplicată concurent unui grup demicrosisteme, în mod normal la sfârșitul procesului de fabricare, exact înainte de separarea fiecărui microsistem în parte, în timp ce a doua modalitate este efectuată doar pe un singur microsistem la un moment dat.

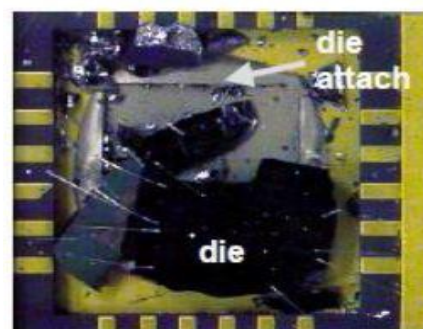
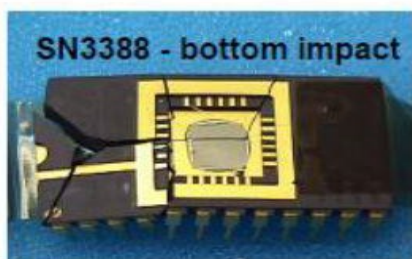
Desigur, ambele metode au atât avantaje cât și dezavantaje : în cazul primei metode, sistemele micro electro-mecanice depistate ca fiind rebuturi, nu mai pot fi identificate după procesul de separare a grupului de microsisteme; iar în cazul celei de-a doua metode, microsistemele separate implică o manipulare mai greoaie. Câțiva producători de astfel de microsisteme optează pentru metoda de testare singulară (fiecare microsistem în parte), după care aceștia, în mod direct, pot trimite produsul către client. Această strategie presupune un proces de testare și împachetare a produsului fără ca sistemele micro electro-mecanice să fie avariate.

Pe durata de testare și manipulare, microsistemele sunt supuse la factori ce pot cauza defectarea acestora : forțe inerțiale, coliziuni, presiune negativă. Pentru a evita astfel de factori nedorii care pot afecta buna funcționare a microsistemelor, procesul de manipulare trebuie să fie proiectat astfel încât șocurile mecanice respectiv accelerările, să aibă un grad cât mai scăzut. Din acest punct de vedere există o serie de studii efectuate asupra acestor fenomene, iar scopul aceste lucrări este de a prezenta într-un mod general procesul de testare a sistemelor micro electro-mecanice și în particular, efectele forțelor ce acționează asupra microsistemelor, pe toată durata procesului de testare.

### 2.1. Tipuri de teste

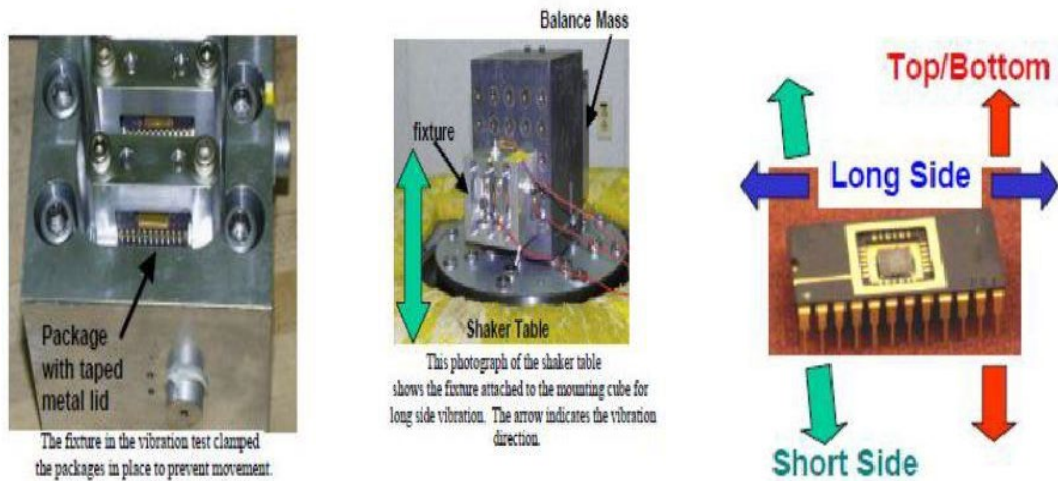
#### 2.1.1. Teste de soc

În general, testele șoc înseamnă supunerea MEMS-urilor la căzături sau vorbim despre un anumit impact asupra lor și se testează astfel rezistența acestora. Spre exemplu, anumite șocuri mai puternice pot deteriora MEMS-ul.



## 2.1.2. Teste de vibrație

În funcție de nivelul de vibrație aplicat pe MEMS, acesta poate la final să funcționeze în parametri normali sau pot exista probleme precum desprinderi, fisuri apărute în urma testului.



## 3. Diferite tehnologii de testare

### 3.1. Microscopia forței atomice

Microscopia cu forță de scanare atomică (AFM) sau microscopia cu forță de scanare (SFM) este un tip de microscopie de scanare cu sondă, cu o rezoluție foarte înaltă, demonstrată pe ordinea fracțiunilor unui nanometru, mai mult de 1000 de ori mai bună decât difracția optică limită.

Informațiile sunt adunate prin "simțirea" sau "atingerea" suprafeței cu ajutorul unei sonde mecanice. Elementele piezoelectrice care facilitează mișcările minuscule, dar exacte și precise ale comenzii (electronice) permit o scanare precisă.

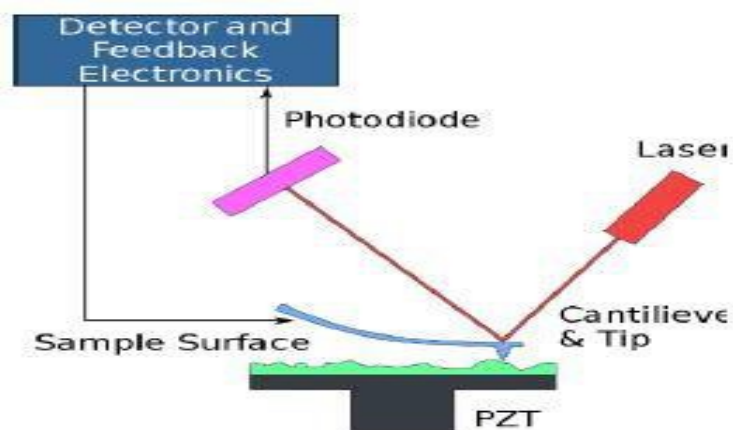
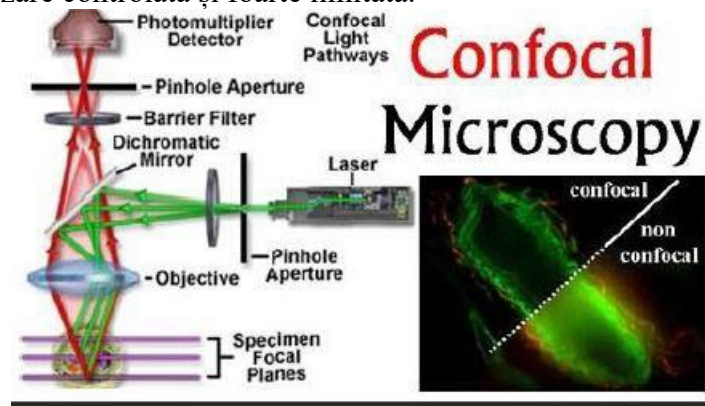


Diagrama bloc a microscopului de forță atomică utilizând detecția deflexiei fasciculului. Pe măsură ce acea consola cu vârf este deplasată prin interacțiunea cu suprafața, la fel se va deplasa și reflexia fasciculului laser pe suprafața fotodiodei.

### 3.2. Microscopia confocala

Cea mai frecventă microscopie de scanare confocală cu laser (CLSM) sau microscopia de scanare confocală laser (LCSM), este o tehnică de imagistică optică pentru creșterea rezoluției optice și a contrastului unei micrografe prin utilizarea unei găuri spațioase pentru blocarea luminii fără focalizare în formarea imaginii. Captarea de imagini multiple bidimensionale la diferite adâncimi într-o mostră permite reconstrucția structurilor tridimensionale (un proces cunoscut sub numele de secționarea optică) în interiorul unui obiect. Această tehnică este utilizată extensiv în comunitățile științifice și industriale, iar aplicațiile tipice sunt inspecția semiconductorilor și știința materialelor.

Lumina se deplasează prin eșantion sub un microscop convențional cât mai departe în specimen, pe măsură ce poate penetra, în timp ce un microscop confocal focalizează doar un fascicul de lumină mai mic la un nivel de adâncime îngust la un moment dat. CLSM atinge o adâncime de focalizare controlată și foarte limitată.

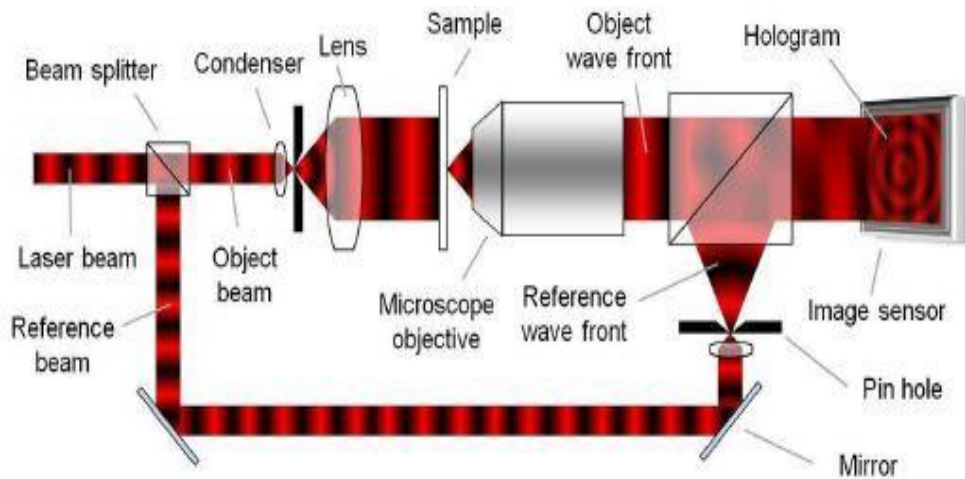


### 3.3. Microscopia holografica digitala

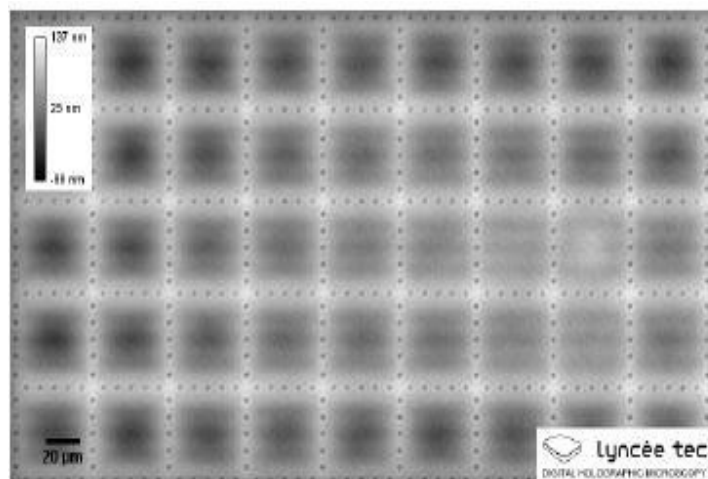
Microscopia holografică digitală (DHM) este o holografie digitală aplicată la microscop. Aceasta se deosebește de alte metode de microscopie prin faptul că nu înregistrează imaginea proiectată a obiectului. În schimb, informația frontală a undelor luminoase provenind de la obiect este înregistrată digital ca o hologramă, de unde un calculator calculează imaginea obiectului, utilizând un algoritm numeric de reconstrucție.

Alte metode de microscopie apropiate de microscopia digitală holografică sunt microscopia interferometrică, tomografia de coerență optică și microscopia de fază de difracție.

Comună pentru toate metodele este utilizarea unui front de undă de referință pentru a obține amplitudinea (intensitatea) și informația de fază. Informația este înregistrată pe un senzor de imagine digital sau printr-un fotodetector din care este creată (reconstituită) o imagine a obiectului de către un computer.



Lumina laser este împărțită într-un fascicul obiect și un fascicul de referință.  
 Faza extinsă a obiectului luminează proba pentru a crea frontul unei obiectului.  
 După ce frontul undelor obiectului este colectat de un obiectiv de microscop, fronturile valurilor de referință și obiect sunt unite printr-un splitter de fascicule pentru a interfera și a crea holograma.  
 Folosind holograma înregistrată digital, un calculator acționează ca un obiectiv digital și calculează o imagine vizibilă a frontului unei obiect folosind un algoritm numeric de reconstrucție.



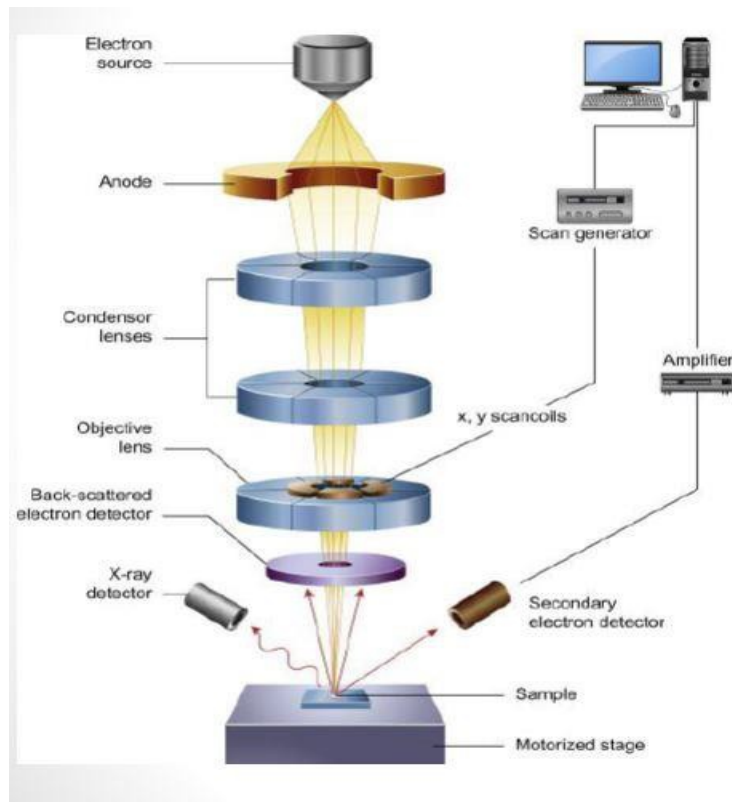
**Traductoare ultrasonice măsurate la 8 MHz în modul stroboscopic**

### 3.4. Microscopia optica

Microscopul optic, numit adesea microscopul luminos, este un tip de microscop care folosește frecvent luminavizibilă și un sistem de lentile pentru a mări imaginile obiectelor mici.  
 Microscopicele optice de bază pot fi foarte simple, deși multe desene complexe au scopul de a îmbunătăți rezoluția și contrastul eșantionului. Adesea folosit în sala de clasă și la

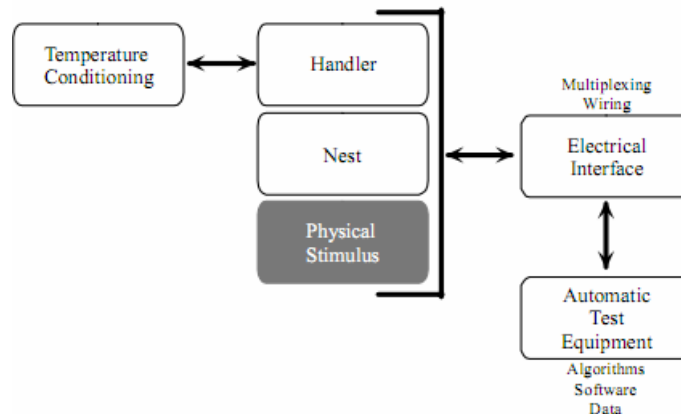


domiciliu, spre deosebire de microscopul electronic care este folosit pentru vizualizarea mai apropiată.



#### 4. Componentele sistemului de test

Primul pas în dezvoltarea echipamentelor de testare a microsistemelor a fost acela de a realiza un echipament de testare standard, structura acestuia fiind divizată pe mai multe module ce asigură o testare completă și corectă a microsistemelor. Divizarea sistemului în componente a permis focalizarea pe obținerea unor soluții optime de proiectare a componentelor, înainte de a considera sistemul de testare ca un sistem complet. Un model pentru testarea unei platforme MEMS este reprezentat în figura “**Componentele sistemului de testare a MEMS-urilor**„. Principalele componente ale unui model de test a sistemelor micro electro-mecanice sunt : **echipament cu funcție de testare automată, unitatea de manipulare, platforma de testare și unitatea de generare a stimulilor fizici**. Modulul responsabil pentru stabilirea valorii temperaturii și modulul de interfațare electrică au fost proiectați astfel încât aceștia să poată fi reutilizați și în cazul altor sisteme de test.



**Componentele sistemului de testare a MEMS-urilor**



#### 4.1. Echipamentul de testare automată

Acest modul reprezintă „inima” întregului sistem de test. **Echipamentul de testare automată** sau așa după cum a fost denumit mai sus, **unitatea de testare**, asigură generarea stimulilor electrici precum și achiziționarea semnalelor ce intervin în procesul de testare. Un sistem micro electro-mecanic tipic are 2 principale funcții ce trebuie luate în considerare pe parcursul procesului de testare. Prima funcție este realizată de **traductor**, care efectuează conversia unei forme de energie într-o altă formă de energie. Pentru cazul accelerometrului, traductorul efectuează **conversia energiei generată de accelerație în energie electrică** utilizând capacități produse prin microprelucrări de suprafață. Cea de-a doua funcție implică **prelucrarea, modelarea și achiziția semnalelor analogice/digitale**. Această a doua funcționalitate a echipamentului de testare automată este întâlnită la majoritatea dispozitivelor semiconductoare din industrie. Echipamentul de testare automată trebuie să corespundă cerințelor în funcție de semnalele variabile utilizate pe durata calibrării și testării microsistemelor. În cazul accelerometrelor, echipamentul de testare automată trebuie să includă atât surse de semnal analogice cât și digitale precum și procesări de semnal analogice/digitale.

Stimulii fizici asociați cu sistemul de testare a microsistemelor reprezintă acea parte a stimulilor electrici ce generează apoi mișcare fizică. Stimulii fizici sunt direcționați către accelerometru în urma generării acestora de către software-ul prezent în unitatea de testare. Acest fapt asigură o bună precizie, sincronizare a stimulilor fizici și a capturii semnalelor generate la ieșirea microsistemului.

Sursa de semnal analogic constă în generarea stimulilor mecanici. Echipamentul de testare automată trebuie să fie capabil ca, simultan, să preia răspunsul accelerometrului testat la aplicarea acestor stimuli, și răspunsul generat de un accelerometru de referință calibrat. Simultaneitatea capturii celor 2 răspunsuri și cunoașterea sensibilității accelerometrului calibrat permite calculul sensibilității dispozitivului testat fără a controla cu precizie unitatea de generare a stimulilor mecanici. Nivelul de capacitate a capturii semnalelor analogice de către unitatea de testare depinde în mod direct de capacitățile de procesare a semnalelor. Componentele hardware și software utilizate exclusiv pentru procesarea de semnal au rolul de a extrage și a analiza formele de undă din cadrul semnalelor achiziționate.

#### 4.2. Unitatea de manipulare

Principalul rol al unității de manipulare este de a transporta dispozitivul testat către spațiul (soclul) unde este efectiv testat, de a asigura testarea în condiții optime a microsistemului, de a transporta dispozitivul în locuri corespunzătoare, în funcție de rezultatul generat de către unitatea de testare.

Un astfel de modul de manipulare pentru testarea accelerometrelor este un sistem dotat și cu posibilitatea reglării temperaturii, și care poate manipula simultan până la 16 sisteme micro electro-mecanice (**Unitate de manipulare a accelerometrelor**).

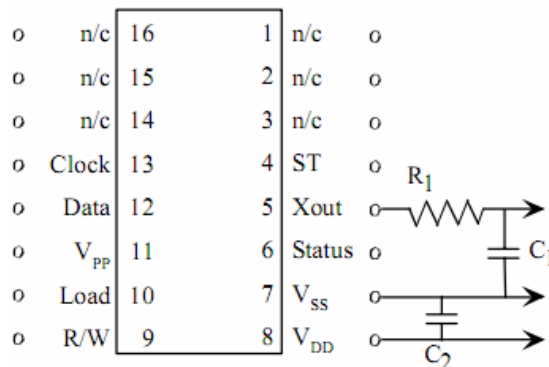


Unitate de manipulare a accelerometrelor

### 4.3. Interfața electrică

Interfața electrică asigură conexiunea dintre echipamentul de testare automată și unitatea de manipulare, platforma de testare respectiv unitatea de generare a stimulilor fizici.

Este o componentă principală pentru asigurarea integrității semnalelor de test. Figura „Pinii de conexiune a dispozitivului testat și componentele pasive pentru suprimarea nivelului de zgomot,” prezintă elementele de circuit necesare pentru testarea microsystemelor de tip accelerometru. Componentele pasive  $R_1$  și  $C_1$  formează un filtru trece jos, cu frecvența de tăiere aproximativ 16 kHz, astfel încât la ieșirea acestuia să rezulte doar semnalul de ieșire dorit, iar celelalte semnale parazit să fie rejectate. Condensatorul  $C_2$  are rolul de a suprima nivelul zgomotului generat de tensiunea de alimentare  $V_{DD}$ . Fixarea acestor componente în soclul de testare trebuie să se facă cât mai aproape de microsystemul supus testării. Soclul de testare nu trebuie să asigure doar contact electric perfect între componente și rigori impuse de unitatea de generare a stimulilor fizici, în acest caz variația nivelului de accelerație, frecvență și temperatură.



Pinii de conexiune a dispozitivului testat și componentele pasive pentru suprimarea nivelului de zgomot

### 4.4. Platforma de testare

Un kit de testare pentru sisteme micro electromecanice reprezintă un pachet de reguli de proiectare care are la bază stimuli combinați, electrici și fizici, care trebuie controlați pentru a pune la punct și/sau a testa dispozitivul. În cazul accelerometrelor, stimulii fizici utilizați pentru testarea acestora sunt niște vibrații sinusoidale a căror valoare a frecvenței este egală cu o valoare din intervalul frecvențelor din banda audio. Tipic, sistemul de excitație și cel de fixare a dispozitivului au valori de vârf rezonante în același interval de frecvențe. Punctele de

contact trebuie să fie suficient de apropiate de dispozitiv, astfel încât forța de prindere/fixare ce acționează asupra dispozitivelor să nu afecteze dispozitivul testat, respectiv procesul de testare. Totodată, platforma de testare trebuie să conțină și soclul dedicat componentelor pasive prezentate anterior. Sistemul de contact necesită un înalt nivel de robustețe și rezistență pentru a putea fi capabil să reziste în timp, chiar și după milioane de dispozitive testate. Un contact cu performanțe scăzute poate cauza nevalidarea testului, datorită valorii rezistenței de contact mare. Se pot întâmpla și alte excepții, de exemplu, un anumit pin electric al dispozitivului poate fi lăsat în aer, datorită contactului electric defect/deformat. Aceste cazuri trebuie evitate, deoarece afectează întregul proces de testare și astfel pot produce consecințe grave.

## 5. Concluzii

În viitor, se conturează două mari provocări ce vor interveni în domeniul testării micro sistemelor electromecanice. Prima dintre ele va fi concretizată prin înlocuirea sistemelor analogice de testare cu sisteme digitale de înaltă complexitate și cu o funcționalitate flexibilă, robustă. Sistemele microelectromecanice evoluează la fel de rapid ca și tehnologia, și astfel sistemele de testare vor trebui să ofere noi oportunități : interfețe digitale, comunicații prin unde radio, testare automată încorporată, generarea rapoartelor etc.

Nu este un lucru ușor. Rezultatele pot fi satisfăcătoare sau nu. Pot exista cazuri în care un simplu test trece cu brio și apoi să provoace pagube destul de costisitoare atât pentru producător cât și pentru client și să existe pierderi colosale în firmele respective, doar pentru că testul a fost făcut superficial. În acest caz o provocare majoră o reprezintă reducerea costurilor de testare. Pentru orice producător, costurile trebuie să fie minime pentru orice operație efectuată. O eficiență ridicată în strategia de testare va asigura un impact pozitiv pentru reducerea costurilor.

Trebuie să existe îndemnânare și să îți iubești meseria pentru a fi capabil de detecția tuturor erorilor, problemelor apărute la începutul, în timpul ori la finalul perioadei de construcție și testare a MEMS-urilor.

## 6. Bibliografie

- D. Ionescu, Note de curs
- D. Ionescu, Îndrumar de laborator
- <http://www.rle.mit.edu/media/pr143/27.pdf>
- <http://www.rle.mit.edu/media/pr143/27.pdf>
- <http://www.intechopen.com/articles/show/title/low-shock-manipulation-and-testing-of-microelectro-mechanical-systems-mems>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/MEMS\\_testing](https://en.wikipedia.org/wiki/MEMS_testing)
- <http://focustestinc.com/index.php/mems-testing>

<https://semiengineering.com/how-testing-mems-sensors-is-different/>