

CARACTERIZAREA MECANICĂ ȘI TRIBOLOGICĂ A MEMS -URILOR

TEZA DE ABILITARE - REZUMAT

Sistemele micro-electro-mecanice (MEMS) sunt o clasă de dispozitive caracterizate atât prin dimensiunile lor reduse precum și prin modul în care sunt fabricate. MEMS-urile au dimensiunile de la un milimetru până la un micrometru, de multe ori acestea fiind mult mai mici decât diametrul unui fir de păr uman.

Teza de abilitare "Caracterizarea mecanică și tribologică a MEMS-urilor" prezintă realizările științifice ale autorului din perioada 2006 - 2015, în domeniul proiectării fiabile a dispozitivelor MEMS. Acest domeniu de cercetare pus în aplicare cu precădere la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca de către autor se bazează pe activitatea științifică dobândită în cadrul a două poziții postdoctorale ocupate de către autor în perioada 2006-2011. Prima s-a desfășurat la Universitatea de Tehnologie din Varșovia în perioada 2006 – 2007, și a avut ca și principal scop caracterizarea mecanică și tribologică a microsistemelor. A doua specializare postdoctorală a fost realizată în perioada 2009 - 2011 la Universitatea din Liege și a avut ca și scop determinarea experimentală a comportamentului dinamic al MEMS-urilor. Ca urmare a acestor specializări și pe baza unor proiecte de cercetare, autorul a acreditat în anul 2013 în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Laboratorul de Micro și Nano- Sisteme (<http://minas.utcluj.ro>).

Principalele cauze de ieșire din uz a MEMS-urilor sunt solicitarea la oboseală și efectul de adeziune. Solicitarea la oboseală este o problemă importantă a MEMS-urilor care funcționează sub sarcini variabile. Adeziunea este o caracteristică care apare în mod special la MEMS-urile cu contact direct dintre elementul flexibil și substrat. Proiectarea fiabilă a MEMS-urilor implică și realizarea de teste mecanice și tribologice intensive pentru îmbunătățirea durabilității lor sub acțiunea unor factori perturbatori.

Teza de abilitare este structurată pe trei capitole științifice care cuprind caracterizarea mecanică și tribologică a MEMS-urilor. Aceste capitole științifice sunt însoțite de alte trei capitole care oferă informații detaliate asupra rezultatelor științifice obținute de autor precum și contribuțiile aduse la prestigiul științific și profesional. Planul de dezvoltare a viitorului parcurs științific și profesional al autorului este prezentat la sfârșitul tezei de abilitare.

Capitolul intitulat "Caracterizarea mecanică a componentelor MEMS" prezintă studii efectuate asupra comportării mecanice a structurilor de tip consolă încastrate la un capăt și libere la celălalt, consolă încastrată la ambele capete și asupra structurilor de tip membrană. Acestea sunt structuri MEMS care pot funcționa individual sau pot fi încorporate în sisteme mai complexe. Caracteristicile studiate sunt: rigiditatea, modulul de elasticitate, tensiuni și deformații.

Consolele MEMS încastrate la un capăt sunt folosite ca și dispozitive de detecție sau de acționare în diverse aplicații. O astfel de microconsolă poate fi utilizată fie în regim static, în scopul de a măsura o deplasare sau o rotație, sau în regim oscilatoriu, atunci când sunt monitorizate frecvențele modale. Consolele încastrate la ambele capete sunt utilizate în aplicații cum ar fi filtrele MEMS și comutatoarele. Micromembranele sunt utilizate în aplicații optice și de telecomunicații. De asemenea în acest capitol sunt analizate micromembrane cu diferite configurații ale articulațiilor cu scopul de a determina răspunsul lor static sub acțiunea unei forțe. Utilizate pe scară largă în comutatoarele de radio frecvență, aceste micromembrane sunt în general deformate până la substrat pentru a putea închide un circuit. Forța de adeziune dintre micromembrană și substrat depinde de forța de revenire mecanică dată de rigiditatea articulațiilor.

Componentele MEMS realizate în straturi multiple sunt folosite în microsistemele de acționare și detectare. Acestea au un strat de bază iar părți active, care procesează sau transmit un semnal, sunt formate din alte straturi. De asemenea sunt analizate și prezentate în acest capitol studii privind comportarea mecanică a microconsolelor realizate dintr-un strat de bază din polimer SU8 și un alt strat metalic reflectorizant.

Pe de altă parte există aplicații MEMS în care elementul flexibil funcționează la temperaturi diferite. Pentru a îmbunătăți fiabilitatea unor astfel de MEMS-uri, este necesară o analiză a efectului temperaturii asupra comportamentului tribologic și mecanic a acestor componente flexibile, analiză prezentată de asemenea în acest capitol. La o microconsolă încastrată la un capăt și liberă la celălalt se determină o variație experimentală neliniară a rigidității în funcție de temperatura de operare. Pe baza analizei cu elemente finite s-a determinat distribuția câmpului termic în microconsolă precum și dilatarea axială la diferite temperaturi.

Un alt capitol științific intitulat "Analiza comportamentul dinamic al MEMS-urilor" prezintă rezonatoarele MEMS și comportamentul lor la diferite condiții de funcționare. O altă provocare constă în faptul că multe dintre aplicațiile industriale MEMS necesită structuri vibratorii pentru care pierderea de energie să fie minimă. Comportamentul mecanic al rezonatoare MEMS este influențat de condițiile de funcționare. Pentru a îmbunătăți fiabilitatea rezonatoare MEMS, trebuie să fie bine determinată influența condițiilor de funcționare asupra răspunsului dinamic. În acest capitol sunt prezentate, modelele analitice pe de o parte precum și investigațiile experimentale asupra frecvenței de rezonanță și asupra pierderilor de energie la rezonatoare MEMS. Majoritatea rezonatorilor MEMS sunt realizați din polisiliciu. Chiar dacă aceste componente sunt structuri geometrice relativ simple, comportamentul lor dinamic trebuie să fie determinat cu precizie.

Cele mai importante aplicații ale rezonatoare MEMS sunt senzorii de detecția masei din aplicații chimice și biologice, dispozitivele MEMS de radio frecvență, senzorii și comutatoarele din industria automobilelor și avioanelor sau din telecomunicații prin satelit.

La o structură MEMS supusă unor solicitări ciclice apare o degajare de căldură și o disipare a energiei înmagazinate ca urmare a relaxării termice a materialului. Este de dorit să se proiecteze structuri oscilatorii de tip MEMS cu o pierdere de energie cât mai mică posibilă. Pierderea de energie în rezonatoare MEMS este determinată experimental pe baza curbele de răspuns la frecvența de rezonanță precum și prin măsurarea lățimii de bandă.

Cel de-al treilea capitol științific intitulat "Caracterizarea materialelor MEMS și investigații tribologice" include analize asupra forței de adeziune și a forței de frecare. Forța de adeziune depinde de condițiile de operare și este influențată de aria zonei de contact. Rugozitatea suprafețelor are o puternică influență asupra adeziunii, prin modificarea numărului de asperități care vin în contact între suprafețe. Testele experimentale sunt realizate prin spectroscopia în punct a microscopului de forță atomică. Din punct de vedere analitic, forța de adeziune este determinată folosind modelele JKR și DMT. Utilizând un sistem de control al temperaturii s-a analizat efectul temperaturii asupra proprietăților materialelor MEMS. De asemenea au fost investigate proprietățile mecanice și tribologice ale materialelor MEMS în funcție de temperatură. Efectul temperaturii asupra tensiunilor interne din material duce la o disipare a energiei, care permite o relaxare a materialului. În cazul materialelor MEMS investigate, s-a determinat o relaxare a elasticității materialului care are influență asupra presiunii de contact și a durtății. Analiza efectului temperaturii asupra comportamentului tribologic și mecanic a materialelor MEMS duce la îmbunătățirea proiectării fiabile a dispozitivelor MEMS.