

**UNIVERSITATEA TEHNICA GHEORGHE ASACHI  
FACULTATEA DE ELECTRONICA TELECOMUNICATII SI  
TEHNOLGIA INFORMATIEI**

***REFERAT MEMS  
Surse de radiație LASER folosite la MEMS-  
uri***

***Student :  
Luchian Ștefan-Gabriel***

***Profesor:  
S. I. dr. ing. Derevlean Daniela***

## Introducere

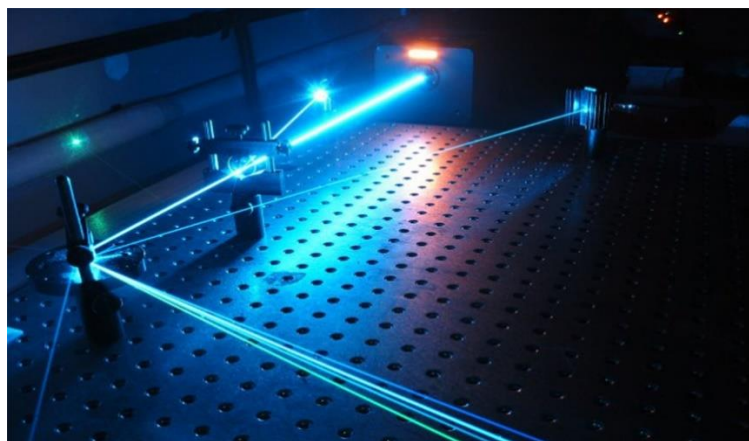
Dispozitivele Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) reprezintă o clasă de tehnologii care au revoluționat domenii precum medicina, industria auto, științele spațiale și electronica de consum. Rolul surselor de radiație laser în fabricarea, testarea și funcționarea MEMS este crucial datorită proprietăților unice ale laserelor: coerență, monocromaticitate, intensitate înaltă și directivitate. Acest referat explorează tipurile de surse laser utilizate în MEMS, aplicațiile lor și avantajele oferite.

## Scurt Istoric

Desemnarea termenului "laser" (Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation) a fost adoptată de comunitatea științifică internațională în anul 1965. Laserul este un dispozitiv optic capabil să genereze un fascicul coerent de lumină. Fasciculele laser prezintă proprietăți unice, care le disting de lumina incoerentă, cum ar fi coerența, direcționalitatea, puterea ridicată și posibilitatea focalizării. Aceste caracteristici le-au permis să devină extrem de utile în diverse aplicații industriale. Un fascicul laser reprezintă un flux concentrat de energie care poate fi transferat eficient de la sursă către o țintă.

În domeniul sistemelor microelectromecanice (MEMS), utilizarea laserelor este diversă. Acestea sunt folosite în caracterizarea, testarea, precum și în tehnologia și funcționarea microsistemelor și nanosistemelor. De exemplu, în testarea MEMS, laserele au aplicații variate, cum ar fi în Microscopia Forței Atomice (AFM) sau Microscopia optică de câmp apropiat (NFOM).

Până în prezent, cercetările asupra MEMS au fost dominate de utilizarea siliciului. Acest material este preferat datorită costului scăzut, calității superioare, proprietăților sale electromecanice avantajoase și capacității de integrare monolitică cu electronica. Totuși, procesele de microprelucrare a siliciului, deși capabile să producă o gamă vastă de dispozitive MEMS utile, prezintă unele limitări. Acestea implică utilizarea unei game restrânse de materiale (precum siliciul, dioxidul de siliciu, nitrura de siliciu și câteva metale), în timp ce MEMS necesită o diversitate mai mare de materiale. Printre acestea se numără polimerii și materialele funcționale, cum ar fi cele magnetice, feroelectrice sau aliajele cu memorie de formă.



## Principiile de Funcționare ale Laserelor

Laserele (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) emit radiație electromagnetică coerentă, generată prin emisie stimulată. Caracteristicile lor cheie includ:

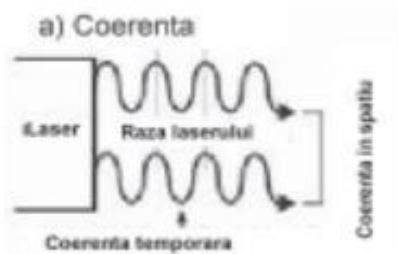
- **Coerență:** Toți fotonii emiși au aceeași fază, energie și frecvență.
- **Intensitate:** Fasciculele laser transportă o cantitate mare de energie concentrată pe o suprafață mică.
- **Monocromaticitate:** Emisia se face pe o singură lungime de undă, ceea ce asigură precizie în aplicații optice.
- **Directivitate:** Fasciculele laser au o divergență foarte mică, permițând focalizarea pe distanțe lungi.

## Coerența

Lumina este emisă atunci când electronii excitați trec la un nivel de energie inferior. Acest proces, în care electronii se deplasează de la un nivel de energie mai ridicat la unul mai scăzut sau invers, este cunoscut sub denumirea de tranziție electronică. În sursele luminoase obișnuite, fotonii emiși au energii, frecvențe, lungimi de undă sau culori variate.

În cazul laserului, tranzițiile electronice au loc în mod controlat, astfel încât fotonii emiși au aceeași energie, frecvență și lungime de undă. Din acest motiv, undele de lumină produse de un laser au o singură lungime de undă sau o culoare unică. Lumina laser este generată printr-o tehnică numită emisie stimulată.

În plus, pentru undele electromagnetice, se pot defini două tipuri de coerență: coerența temporală, care se referă la constanța fazei în timp, și coerența spațială, care descrie uniformitatea fazei pe suprafața unde. Aceste proprietăți contribuie la caracteristicile unice ale luminii laser.



## Intensitate

Intensitatea luminoasă extrem de mare obținută cu ajutorul laserului este o consecință directă a coerenței sale spațiale. Energia emisă de un tub de descărcare de lungime mare, care în mod obișnuit s-ar dispersa în toate direcțiile, este concentrată într-un fascicul cu secțiune redusă și un unghi solid foarte mic.

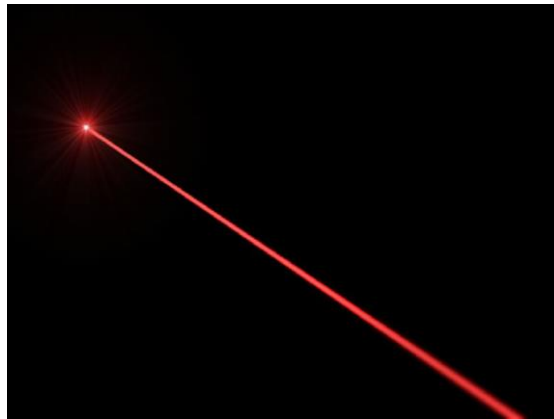
Puterea fasciculului laser poate varia semnificativ în funcție de tipul de laser utilizat. De exemplu, diodele laser folosite pentru citirea discurilor compacte au o putere de aproximativ 5 mW, în timp ce laserele cu CO<sub>2</sub> utilizate în aplicații industriale, cum ar fi tăierea metalelor, pot genera puteri cuprinse între 100 W și 6000 W.

În cazul laserului, lumina este concentrată în regiuni mici ale spațiului și într-un interval restrâns de lungimi de undă. Această caracteristică face ca lumina laser să aibă o intensitate considerabil mai mare decât cea a luminii obișnuite.

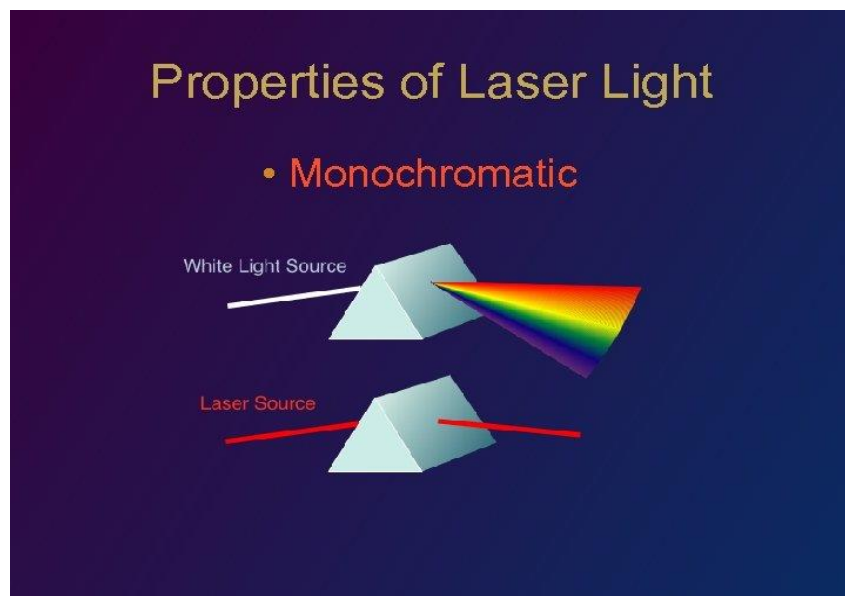
## Monocromaticitate

Majoritatea emițătorilor laser generează un spectru de emisie foarte restrâns datorită modului lor de funcționare, în care un număr mic de fotoni inițiali sunt amplificați printr-un proces de „copiere” exactă, rezultând într-o cantitate mare de fotoni identici. În anumite situații, spectrul este atât de îngust (lungimea de undă este foarte bine definită) încât fasciculul păstrează coerența fazei pe distanțe mari.

Lumină monocromatică se referă la o lumină ce conține o singură lungime de undă sau culoare. În cazul laserului, toți fotonii emiși au aceeași energie, frecvență sau lungime de undă. Astfel, undele de lumină emise de un laser sunt caracterizate de o singură lungime de undă sau culoare și o gamă foarte restrânsă de frecvențe.



Experiment optic în care un fascicul de lumină monocromatică emis de un laser trece printr-o rețea de difracție



Reprezentare a luminii laser monocromatice folosite într-un context optic, demonstrând claritate și unidirecționalitate.

## Directivitate

Lumina emisă de surse obișnuite, precum becurile cu incandescență, tuburile fluorescente sau lumina solară, este dificil de transformat într-un fascicul paralel. În schimb, lumina laser este emisă, în mod obișnuit, direct sub formă de fascicul paralel. Acest lucru se datorează rolului cavității optice rezonante, care selectează fotonii ce se propagă paralel cu axa cavității.

În cazul surselor convenționale de lumină (cum ar fi lămpile, lămpile cu sodiu sau lanternele), fotonii se deplasează în direcții aleatorii, ceea ce determină emisia luminii în toate direcțiile. Pe de altă parte, în cazul laserului, toți fotonii se deplasează într-o singură direcție, fenomen cunoscut sub numele de direcționalitatea luminii laser. Fasciculul laser are o lățime extrem de mică și poate parcurge distanțe mari fără a se dispersa.

## Lungimi de unda emise

Lungimile de undă ale radiației laser acoperă regiunile ultravioletă, vizibilă și infraroșie ale spectrului electromagnetic.

- **Radiația ultravioletă** include lungimi de undă între 180 și 400 nm.
- **Lumina vizibilă** se află în intervalul 400-700 nm.
- **Regiunea infraroșie** cuprinde lungimi de undă între 700 nm și 1 mm.

Radiația laser absorbită de piele pătrunde doar în straturile superficiale. În cazul ochilor, radiațiile din spectrul vizibil și apropiate de infraroșu trec prin corneea, fiind focalizate și absorbite de retină. Percepția culorilor este influențată de lungimea de undă: violet la 400 nm, roșu la 700 nm, iar celelalte culori intermediare se regăsesc între aceste valori.

Efectele absorbției radiației asupra țesuturilor biologice variază în funcție de lungimea de undă:

- În **spectrul ultraviolet**, predomină reacțiile fotochimice.
- În **spectrul infraroșu**, efectele sunt în principal termice.
- În **spectrul vizibil**, se manifestă atât reacții fotochimice, cât și termice.

Dacă radiația laser are o intensitate suficient de mare, aceasta poate provoca deteriorarea țesuturilor expuse.

Tipuri de lasere	Lungimea de undă(Nanometrii)
Fluorură de argon	193
Clorură de xenon	308 - 459
Fluorură de xenon	353 - 459
Heliu-Cadmiu	325 - 442
Rhodamine 6G	450 - 650
Vapor de cupru	511 - 578
Argon	457 - 528
Frecvență dublată Neodim:YAG	532
Heliu-Neon	543, 594, 612, 632.8
Kripton	337.5 - 799.3
Rubin	694.3
Diode laser	630 - 950
Ti:Safir	690 - 960
Alexandrit	720 - 780
Nd:YAG*	1064
Fluorură de hidrogen	2600 - 3000
Erbiu:Sticlă	1540
Monoxid de carbon	5000 - 6000
Dioxid de carbon	10600

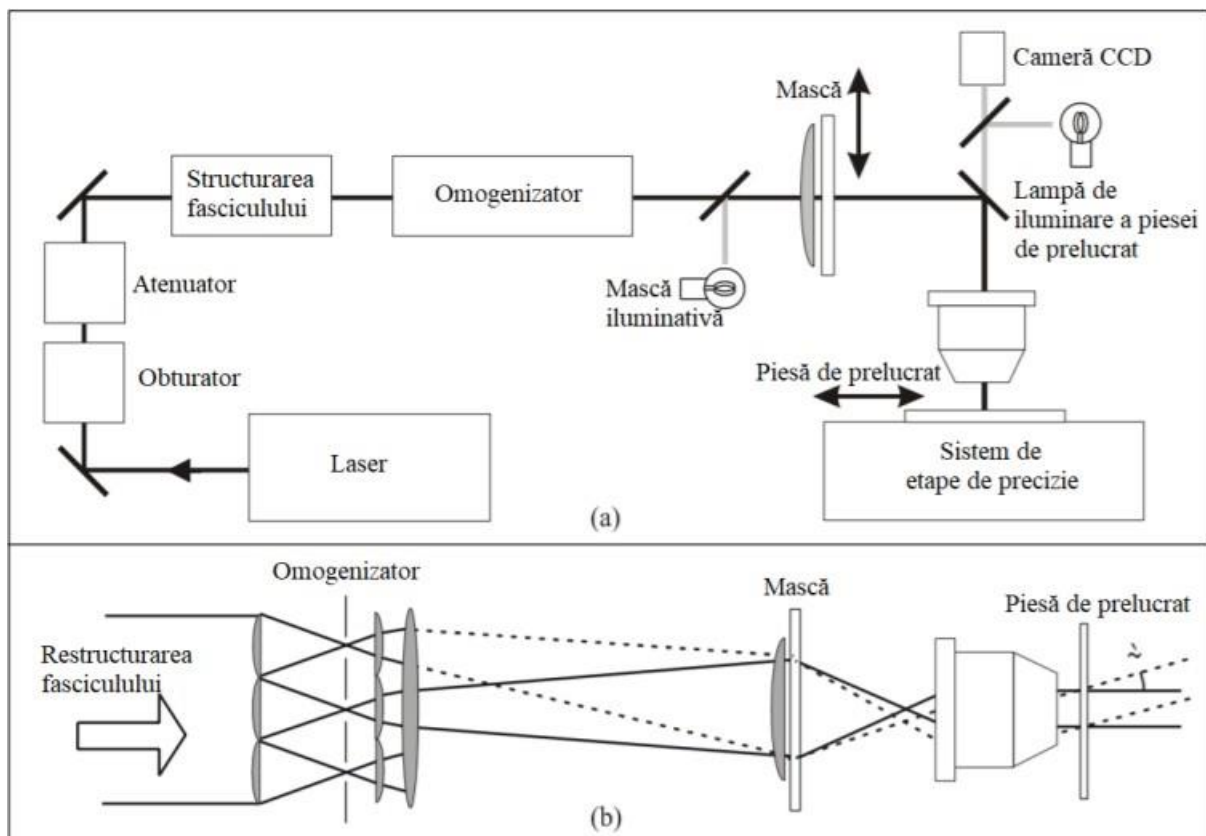
Tabelul prezintă diverse materiale utilizate în construcția laserelor, precum și lungimile de undă specifice pe care acestea le emit. Unele materiale și gaze pot genera radiație laser la mai multe lungimi de undă, în funcție de proprietățile lor. În astfel de cazuri, lungimea de undă emisă este determinată de configurația optică a sistemului laser.

## Construcție

Laserele Excimer, precum ArF (193 nm) și KrF (248 nm), sunt frecvent utilizate în prelucrarea MEMS datorită absorbției ridicate în spectrul UV, permițând îndepărtarea materialului cu rate mici, de obicei între 0,1 și 1  $\mu\text{m}$  per puls. Această caracteristică facilitează un control precis al procesului prin numărarea impulsurilor, fiind ideale pentru aplicațiile MEMS care necesită caracteristici sub 10  $\mu\text{m}$  și toleranțe sub 1  $\mu\text{m}$ .

Dimensiunea tipică a câmpului de prelucrare este de aproximativ 5x5 mm<sup>2</sup>, în funcție de material și energia laserului. Structurile din acest câmp sunt procesate simultan, permițând expunerea într-o singură etapă litografică. Zone mai mari pot fi prelucrate prin mișcarea sincronizată a măștii și a piesei de prelucrat, adaptându-se la modele nerepetitive. În contrast, laserele Nd:YAG cu frecvență triplată sau cvadruplă au, de obicei, o energie pulsată mai mică și o calitate superioară a fasciculului, fiind utilizate în mod serial prin scanare.

Echipamentele de prelucrare cu laser au evoluat semnificativ. O stație de lucru tipică cu laser Excimer include componente precum un obturator, un atenuator variabil, un formator de fascicul și un omogenizator, care pregătesc fasciculul înainte de a ajunge la mască. Formatorul de fascicul ajustează secțiunea transversală a fasciculului, conferindu-i o formă aproape pătrată, iar omogenizatorul împarte fasciculul în multiple surse, iluminând masca din direcții diferite. Aceasta îmbunătățește uniformitatea iluminării la nivelul măștii și introduce componente în afara axei în iluminare.



Această imagine ilustrează un sistem optic complex folosit pentru prelucrarea precisă a materialelor, probabil într-un context industrial sau de cercetare. Este împărțită în două secțiuni principale:

(a) Diagrama de ansamblu a sistemului:

Aceasta prezintă fluxul principal al procesului. Componentele principale sunt:

Laser - Sursa principală de lumină coerentă, utilizată pentru prelucrarea materialului.

Obturator și Atenuator - Controlul fasciculului laser, inclusiv intensitatea și întreruperea acestuia.

Structurarea fasciculului - Modul în care forma sau direcția fasciculului este ajustată.

Omogenizator - Asigură uniformizarea distribuției intensității fasciculului laser.

Masca iluminativă - Permite controlul zonei unde energia laserului va fi aplicată, utilizând o formă predefinită.

Lampă de iluminare și Camera CCD - Folosite pentru monitorizarea piesei de prelucrat și ajustări de precizie.

Sistem de etape de precizie - Controlează mișcarea piesei prelucrate pentru o poziționare exactă.

(b) Detalii ale procesului optic:

Prezintă în detaliu interacțiunea dintre componentele optice:

Omogenizatorul - Distribuie fasciculul uniform pentru a elimina variațiile de intensitate.

Masca - Selectează zona exactă care trebuie iluminată.

Piesa de prelucrat - Este iluminată conform formei mascate, iar fasciculul laser interacționează pentru a prelucra materialul.

Această tehnologie este utilizată adesea în litografie, micro-fabricare sau alte procese care necesită precizie în prelucrarea materialelor la scară mică. Poate fi folosită pentru tăiere, gravare sau modificări specifice ale suprafețelor.

## **Fabricarea MEMS-urilor**

Fabricarea structurilor MEMS implică utilizarea laserelor pentru procese precum:

### **a. Gravare cu Laser**

Gravarea cu laser este un proces esențial pentru realizarea modelelor complexe pe substraturile MEMS.

- Laserele Excimer sunt ideale pentru gravarea precisă, deoarece emit impulsuri ultraviolete cu durate foarte scurte, minimizând deteriorarea termică a materialelor.
- Laserele Nd:YAG sunt utilizate datorită puterii lor ridicate și versatilității, permițând gravuri detaliate pe o varietate de substraturi, inclusiv siliciu și metale.

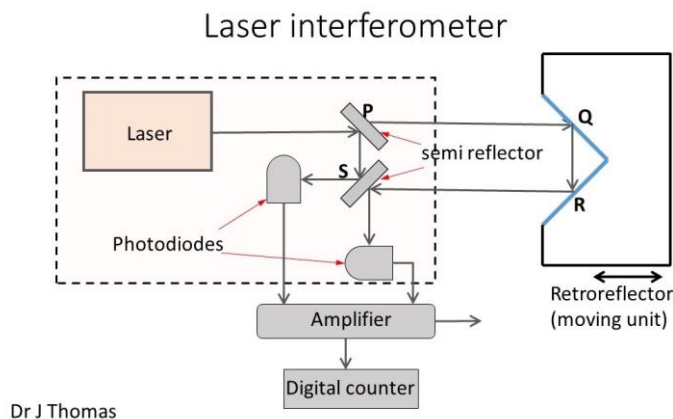


Echipament de gravare cu laser utilizat pentru modele precise pe substraturi.

### b. Depunerea de Straturi Subțiri

Depunerea Laser Pulsată (PLD) permite aplicarea controlată a materialelor pe substraturi MEMS.

- Este folosită pentru depunerea materialelor speciale, cum ar fi filmele piezoelectrice (pentru senzori) și cele feroelectrice (pentru memorie).
- Procesul asigură o aderență excelentă și un control precis al grosimii stratului.



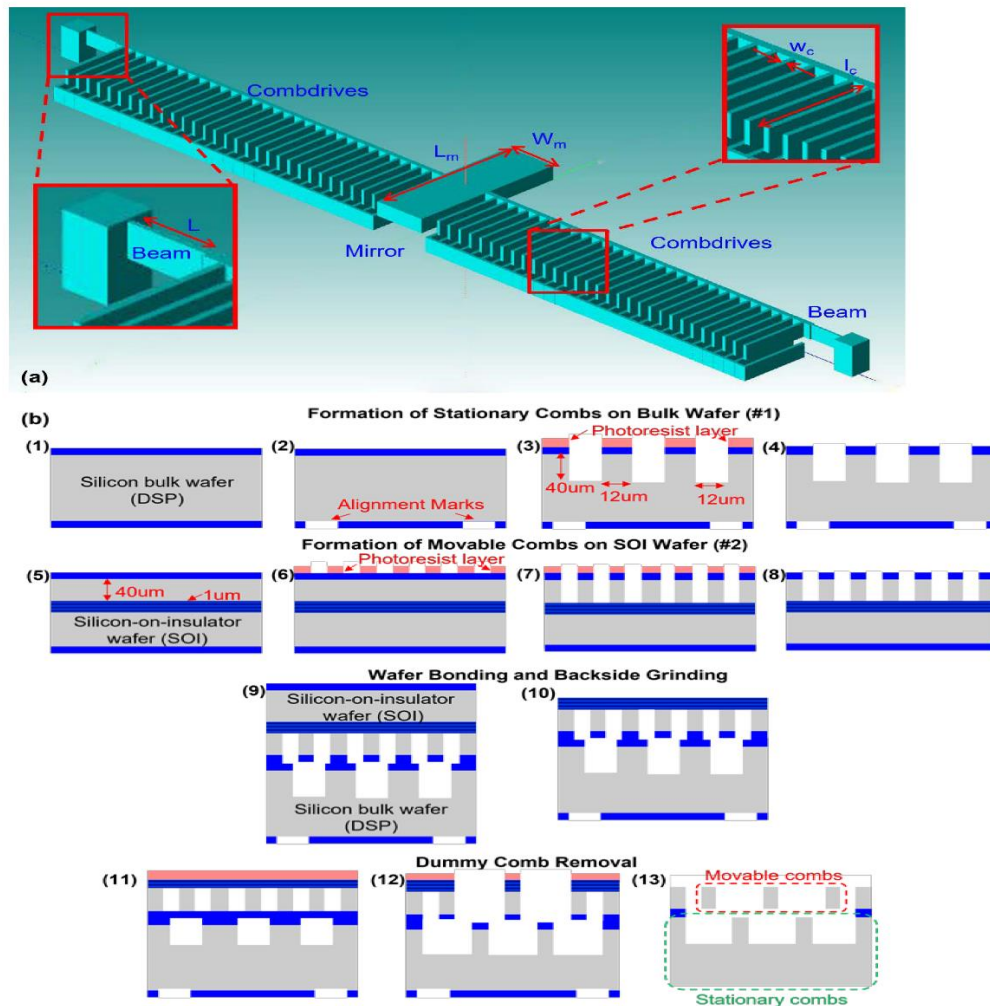
Procesul de depunere a straturilor subțiri prin interacțiunea fascicului laser cu un substrat.

### c. Micro-bonding

Sudura și lipirea cu laser sunt esențiale pentru interconectarea componentelor MEMS sensibile la temperatură.

- Fascicului laser localizează căldura doar în zona necesară, evitând deteriorarea altor părți ale dispozitivului.
- Acest proces este utilizat pentru a conecta fire sau piese mici în asamblarea finală a componentelor MEMS.





Sistem de sudură cu laser, utilizat pentru conectarea componentelor sensibile.

## Caracterizarea MEMS-urilor

Tehnici optice bazate pe lasere, precum:

### a. Interferometria Laser

Această tehnică folosește lasere pentru a analiza mișcările microscopice ale structurilor MEMS.

- Interferența fasciculelor laser reflectate de pe suprafețele structurilor oferă măsurători precise ale vibrațiilor și deplasărilor.
- Este esențială pentru validarea performanței și analiza deformărilor în componentele MEMS.

### b. Deflecția Fasciculului

Această metodă este utilizată în mod frecvent în microscopie atomică pentru a analiza deformările structurilor MEMS.

- Fasciculul laser reflectat detectează modificările minuscule ale poziției, oferind date exacte despre tensiunile și deformările mecanice.
- Este utilizată în special pentru a monitoriza performanța dispozitivelor în condiții dinamice.

## Excitarea Structurilor MEMS

Presiunea radiației laser poate induce vibrații în microstructuri, utile pentru analiza răspunsului dinamic.

## Avantajele Utilizării Laserelor în MEMS

### 1. Precizie Ridicată

Laserele pot focaliza pe regiuni extrem de mici, permițând fabricarea și caracterizarea structurilor MEMS la o rezoluție nano sau micrometrică. Acest nivel de precizie este esențial pentru dispozitivele complexe, cum ar fi accelerometrele și giroscopurile.

### 2. Flexibilitate Materială

Datorită capacității de a procesa o gamă largă de materiale, laserele pot lucra cu polimeri, metale, ceramice și chiar substraturi compozite, făcându-le ideale pentru diverse aplicații MEMS.

### 3. Procesare Rapidă

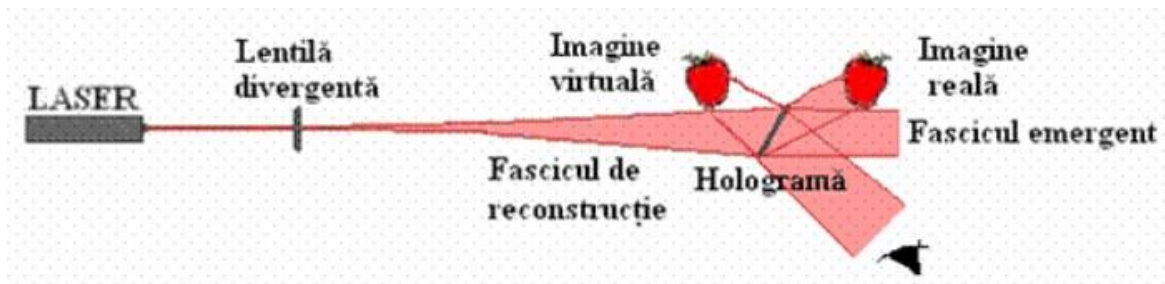
Fasciculele laser oferă viteze mari de microprelucrare, ceea ce reduce timpul de fabricație. Această rapiditate este esențială în producția de masă a componentelor MEMS, asigurând eficiență fără a compromite calitatea.

## Funcționare

Un dispozitiv laser este format din două sisteme fizice aflate în interacțiune: câmpul electromagnetic dintr-un rezonator optic și un mediu activ situat în interiorul acestuia. Atomii, moleculele sau ionii mediului activ prezintă cel puțin două nivele de energie, diferența dintre ele corespunzând unei frecvențe aflate în rezonanță cu una dintre frecvențele proprii ale rezonatorului optic. Atunci când acești atomi, molecule sau ioni sunt excitați la un nivel energetic superior printr-un mecanism extern, modul electromagnetic rezonant determină tranziția lor la un nivel inferior. În acest proces de emisie stimulată, energia diferențială este transferată câmpului electromagnetic din cavitate, rezultând amplificarea unui singur mod de oscilație a cărui frecvență corespunde celei a rezonatorului optic. Dacă se menține un dezechilibru al populației între cele două nivele energetice, dispozitivul funcționează ca un amplificator cuantic al radiației.

O alternativă la procesarea directă a microstructurilor cu laser este utilizarea metodei LIGA (Lithographie, Galvanoformung und Abformung), unde laserul servește la crearea unui model de polimer ce poate fi replicat ulterior în metal, plastic sau ceramică. Inițial, modelul de polimer este format pe un substrat conductiv printr-un proces de litografie cu raze X, folosind radiație sincrotronică.

Datorită lungimii de undă scurte a luminii utilizate, se pot obține structuri profunde, cu un nivel ridicat de precizie și raport de aspect mare. Modelul de polimer este apoi replicat printr-un proces de galvanizare, în care cavitățile sunt umplute cu metal, cel mai adesea nichel. Continuând galvanizarea până la atingerea unei grosimi suficiente pentru suport structural, se poate crea un instrument utilizabil în turnarea prin injecție sau în reliefaarea materialelor.



Această imagine ilustrează principiul de funcționare al unui sistem holografic, utilizat pentru generarea și reconstrucția imaginilor tridimensionale. În detaliu:  
Componentele principale:

**Laser:** Sursa de lumină coerentă care generează un fascicul uniform, esențial pentru holografie.

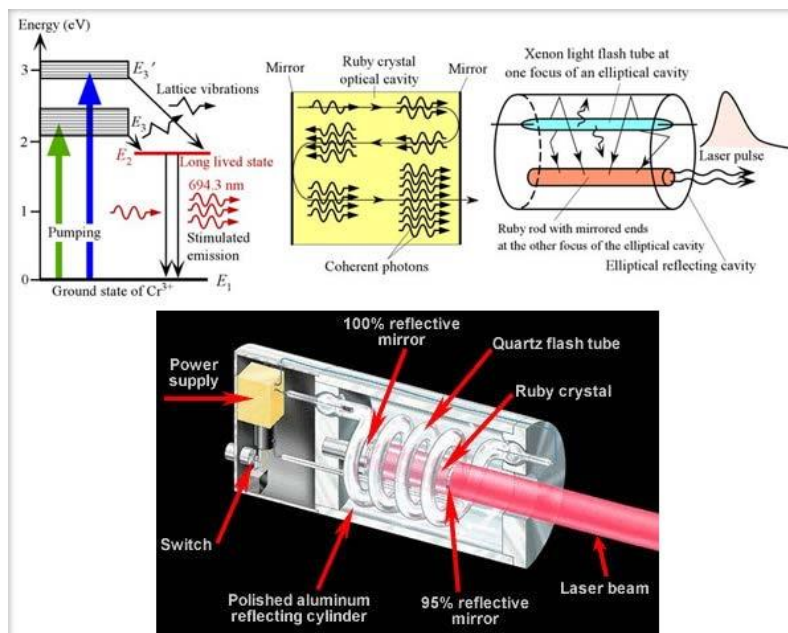
**Lentila divergentă:** Transformă fasciculul laser într-un fascicul divergent, ceea ce este necesar pentru iluminarea hologramei.

**Holograma:** O înregistrare a interferenței dintre două fascicule de lumină – unul reflectat de obiectul original și unul de referință.

**Fascicul de reconstrucție:** Lumina laser care trece prin hologramă pentru a recrea imaginea originală.

**Imagine virtuală:** Reprezentarea aparentă a obiectului, vizibilă într-o anumită direcție.

**Imagine reală:** Reproducerea tridimensională a obiectului, care poate fi vizualizată din unghiuri diferite.



Această diagramă ilustrează componentele principale ale unui laser, inclusiv rezonatorul optic și mediul activ.

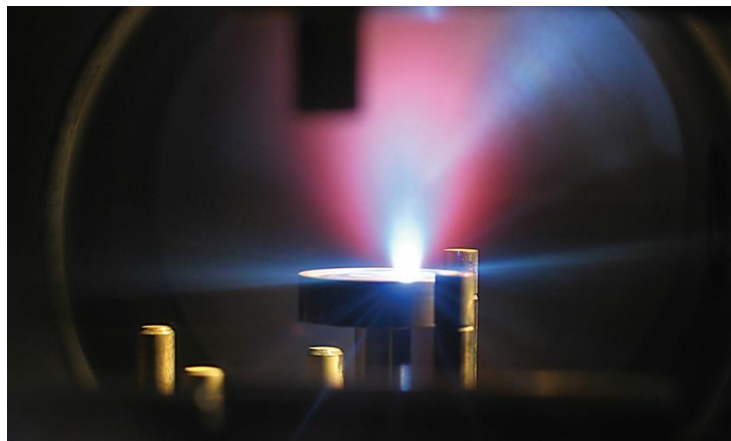
## Aplicarea prin laser

Cele mai utilizate metode de depunere asistată de laser sunt pulverizarea ablativă și depunerea chimică asistată de laser (LCVD). În cazul pulverizării ablativă, cunoscută și sub denumirea de depunere laser pulsată (PLD), materialul este îndepărtat prin ablație de pe o țintă solidă, într-un mediu cu vid parțial, și se redeponă pe suprafața piesei de prelucrat. Spre deosebire de alte procese laser, PLD nu este selectiv, ceea ce înseamnă că stratul depus acoperă întreaga suprafață a piesei. Această tehnică este deosebit de valoroasă pentru depunerea materialelor cu puncte de topire ridicate și a compușilor multicomponenți, dificil de obținut prin alte metode. În domeniul MEMS, PLD este utilizată în principal pentru depunerea filmelor subțiri de PZT (zirconat-titanat de plumb), utilizate în actuatoare piezoelectrice, precum și a aliajelor cu memorie de formă.

În procesul LCVD, un fascicul laser inițiază o reacție chimică în fază gazoasă, determinând depunerea materialului dorit. De exemplu, metalele pot fi obținute prin disocierea precursorilor organici metalici sub influența radiației laser, iar pentru formarea unor compuși precum oxidii și nitruurile sunt utilizate reacții mai complexe. Deși LCVD este folosit în principal pentru crearea filmelor subțiri, această metodă a permis și realizarea unor structuri tridimensionale autoportante.

Similar gravării asistate de laser, procesul LCVD acționează strict în zona iluminată, ceea ce permite crearea unor modele conductoare pe suprafețe plane prin litografie directă. Totuși, principalul avantaj al acestei tehnici în domeniul MEMS este capacitatea de a depune material selectiv pe suprafețe neuniforme. De exemplu, după aplicarea unui strat protector de nichel prin acoperire electrolică, procesul LCVD (utilizând același laser excimer KrF) a fost folosit pentru a depune o mască de crom (Cr), care delimitează plăcuțele de contact din interiorul sloturilor și traseele conductoare de-a lungul pereților laterali ai unui tub. Ulterior, nichelul expus a fost îndepărtat printr-un proces de gravare umedă.

Această metodă permite și fabricarea unor structuri tridimensionale complexe printr-o tehnologie bazată pe stratificare succesivă și solidificare cu radiație UV a unui fotopolimer lichid. Procesul inițial, cunoscut sub numele de metodă „cu suprafață constrânsă”, implică expunerea fotopolimerului printr-o placă transparentă. La fiecare etapă, un fascicul laser UV (precum un laser HeCd) întărește selectiv materialul aflat imediat sub placă, după care aceasta este ridicată pentru a permite adăugarea unui nou strat de polimer lichid. Procesul este repetat până la obținerea formei finale dorite.

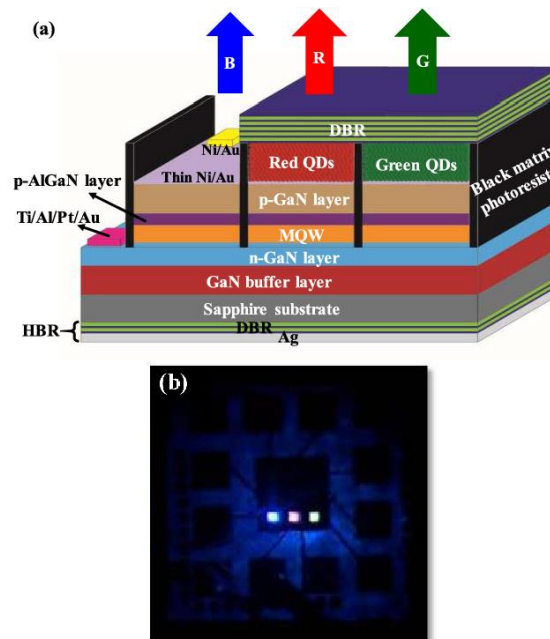


Imaginea reprezintă un sistem de depunere laser pulsată (PLD), unde un laser pulsat ablatează materialul de pe o țintă solidă și îl depune pe substratul dorit. Procesul se desfășoară într-o cameră de vid, asigurând control precis asupra calității filmelor subțiri depuse. Aceasta corespunde perfect descrierii tehnicii menționate în text.

## Montajul monolitic

Mai multe procese de montaj monolitic au fost dezvoltate până în prezent. În special, au fost create tehnici care permit rotirea structurilor într-un plan diferit de cel inițial, cu rotația fiind generată fie de acționări electrostatice, fie de forțele de tensiune de suprafață rezultate din topirea plăcuțelor. Aceste procese permit reconfigurarea semnificativă a pieselor, extinzând astfel mult diversitatea structurilor ce pot fi realizate prin prelucrare pe suprafețe plane. De asemenea, au fost documentate procese care permit ajustări minore ale pieselor, cum ar fi asamblarea termică, unde încălzirea rezistivă este folosită pentru separarea, sudarea sau deformarea pieselor micromașate.

Un proces cu potențial semnificativ în acest domeniu este microbondarea cu laser, care se bazează pe încălzirea asimetrică a unei structuri metalice prin expunerea la laser. Aceasta generează solicitări termice care, dacă sunt suficiente, pot duce la deformări plastice.



Imaginea ilustrează micro-LED-uri integrate într-o singură structură, fiecare având o culoare specifică (roșu, verde și albastru). Acest tip de montaj monolitic permite integrarea directă a componentelor optoelectronice într-un singur substrat, eliminând necesitatea asamblării separate a fiecărei culori. Această abordare este esențială pentru dezvoltarea de display-uri micro-LED de înaltă performanță.

## Ansamblu hibrid

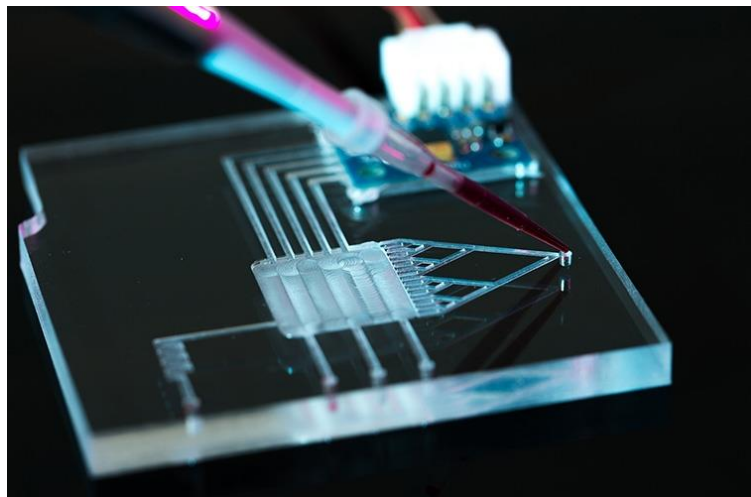
Pentru asamblarea hibridă, sunt necesare metode pentru transferul pieselor de pe un substrat pe altul. În general, acest proces implică eliberarea pieselor de pe o placă de sursă, transportul lor la locurile dorite pe o placă țintă și fixarea lor în poziție. Scopul este de a identifica tehnici care pot efectua simultan aceste operații pentru mai multe piese. Un mecanism investigat pentru transportul pieselor în asamblarea hibridă este utilizarea cu laser a microparticulelor prin capcane optice, bazându-se pe presiunea radiațiilor. Această metodă poate fi utilizată atât pentru piesele dielectrice, cât și pentru cele metalice. Componentele fabricate pe un purtător transparent sunt eliberate și transferate pe o placă țintă prin ablația cu laser excimer a unui strat de polimer sacrificabil, utilizând lumină care pătrunde prin purtător.

Acest proces poate fi realizat paralel, dar și transferul secvențial al componentelor individuale sau grupuri de componente se poate face prin expunere mascată. În cadrul procesului paralel, micromotoarele electrostatice au fost asamblate din piese fabricate pe substraturi separate prin tehnologia UV-LIGA.

## Aplicații Practice

### Sisteme Microfluidice

Sistemele microfluidice sunt tehnologii care manipulează volume extrem de mici de lichide, de obicei în intervalul de la nanolitri la microlitri, și sunt folosite într-o varietate de aplicații, inclusiv în biomedicină, cercetarea materialelor și ingineria chimică. Laserele Excimer sunt folosite pentru a fabrica canale și rezervoare microfluidice, având avantajul de a crea structuri extrem de fine și precise. În acest proces, laserul Excimer, care emite radiație ultravioletă, poate abla materialul din substrat pentru a crea microcanale de dimensiuni foarte mici. Această tehnologie este extrem de utilă în domeniul bioMEMS (sisteme microelectromecanice pentru aplicații biologice), unde precizia în fabricarea componentelor este esențială. De exemplu, laserele Excimer sunt folosite pentru a crea canale microfluidice pentru analize ADN, separarea celulelor sau alte procese biochimice care necesită manipularea unor cantități minuscule de lichide.



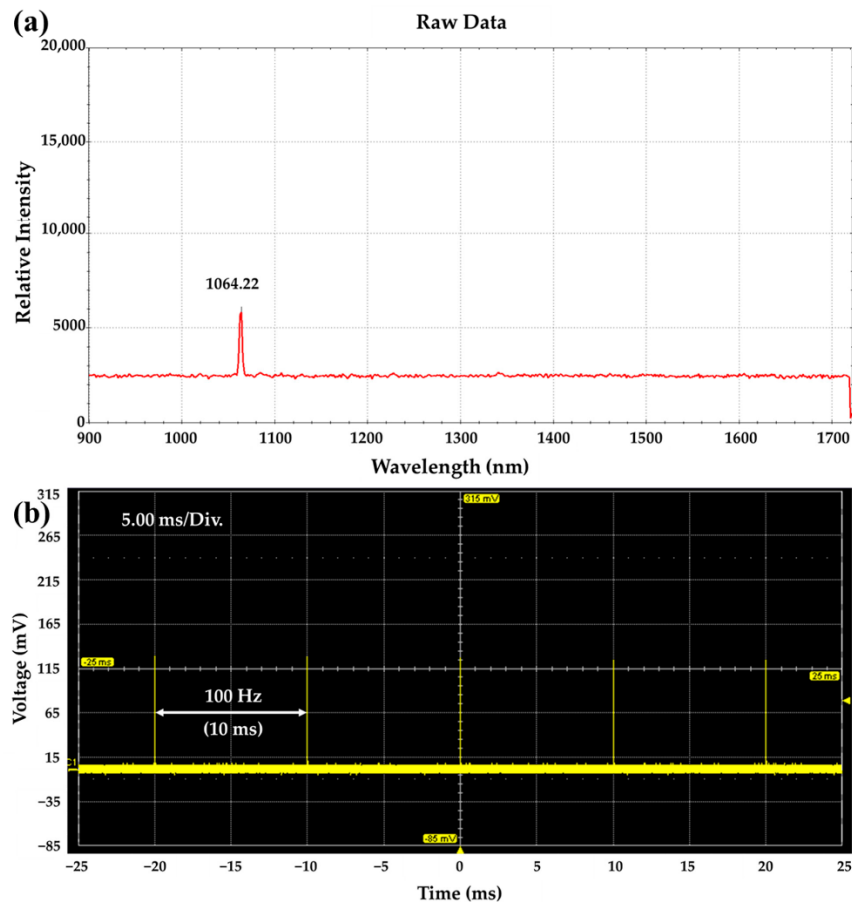
Imaginea ilustrează un dispozitiv microfluidic fabricat cu ajutorul laserului Excimer. Laserul Excimer este utilizat pentru a crea canale și rezervoare extrem de fine în materiale polimerice, esențiale pentru manipularea precisă a fluidelor la scară micrometrică.

### Senzori Optici

Senzorii optici sunt dispozitive care utilizează lumina pentru a măsura diferite parametri fizici, chimici sau biologici. Aceștia sunt cruciali în aplicații de mediu, industriale și medicale, unde detectarea precisă este necesară. Fabricarea senzorilor optici cu lasere Nd:YAG (Neodimium-doped Yttrium Aluminum Garnet) este o tehnică avansată, utilizată pentru a produce senzori cu o sensibilitate și fiabilitate foarte ridicată. Laserele Nd:YAG sunt folosite pentru a crea structuri precise pe materialele semiconductoare, ceea ce duce la un control mai bun al răspunsului optic al senzorilor. În aplicațiile medicale, de exemplu, acești senzori pot fi utilizați pentru monitorizarea stării pacientului prin măsurarea variabilelor fizice precum temperatura,



umiditatea sau concentrația de oxigen, având un impact semnificativ asupra diagnosticării și tratamentului rapid.

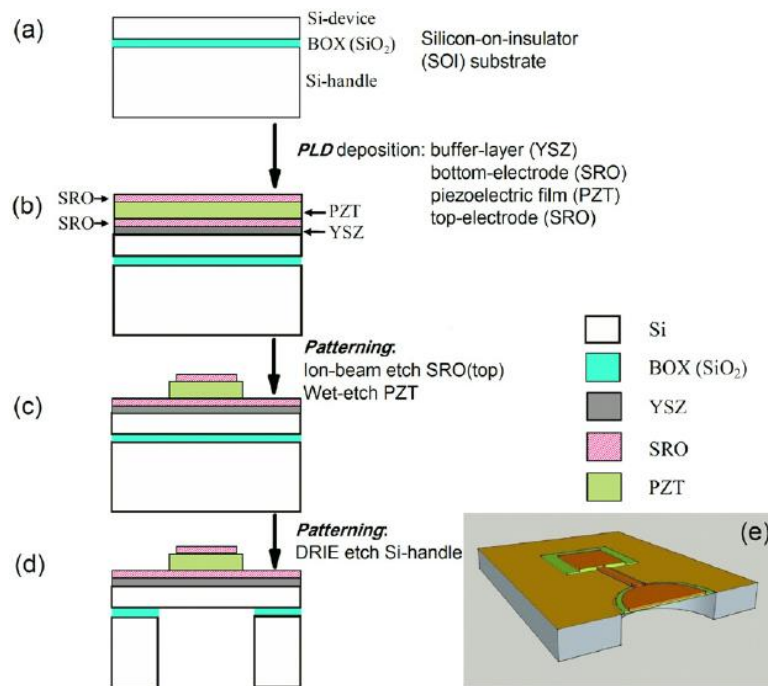


Imaginea prezintă un senzor optic fabricat cu laserul Nd:YAG. Laserul Nd:YAG este folosit pentru a crea structuri precise pe materiale semiconductoare, îmbunătățind sensibilitatea și fiabilitatea senzorilor optici.

### Actuatoare Piezoelectrice

Actuatoarele piezoelectrice sunt dispozitive care folosesc proprietățile piezoelectrice ale unor materiale pentru a transforma energia electrică în mișcare mecanică. Acestea sunt folosite într-o gamă largă de aplicații, inclusiv în MEMS (sisteme microelectromecanice), pentru a controla mișcarea și vibrațiile într-un mod extrem de precis. Depunerea straturilor de PZT (zirconat-titanat de plumb) cu ajutorul tehnicii PLD (pulverizarea laser pulsată) este o metodă eficientă pentru crearea acestor actuatoare. Tehnologia PLD este capabilă să depună straturi foarte subțiri de PZT pe un substrat, iar datorită caracteristicilor acestui material piezoelectric, actuatoarele rezultate pot produce mișcări precise atunci când sunt aplicate tensiuni electrice. Această tehnologie se folosește în aplicații care necesită controlul precis al mișcărilor, cum ar fi în microactuatoare, actuatoare pentru sisteme optice sau în dispozitivele de control al vibrațiilor în echipamentele sensibile.

Aceste aplicații sunt doar câteva exemple care ilustrează modul în care tehnologiile de fabricare cu laser joacă un rol important în dezvoltarea de soluții inovative în domenii esențiale pentru avansarea tehnologică.



Imaginea ilustrează procesul de depunere laser pulsată (PLD) utilizat pentru fabricarea actuatorilor piezoelectrice. Prin PLD, se depun straturi subțiri de materiale piezoelectrice, precum PZT, pe substraturi, permițând transformarea energiei electrice în mișcare mecanică.

## Utilizări

Laserele sunt instrumente indispensabile în caracterizarea și excitarea MEMS. Tehnicile bazate pe laser, cum ar fi deflecția fasciculului și interferometria, permit evaluarea precisă a răspunsului static și dinamic al MEMS la stimuli externi. Prin măsurarea deviației fasciculului laser reflectat de o consolă MEMS sau a interferenței dintre fasciculul incident și cel reflectat de o micro-membrană, se pot obține informații detaliate despre mișcările mecanice ale dispozitivului. În plus, utilizarea impulsurilor laser ultra-scurte permite excitarea directă a vibrațiilor în structurile MEMS, oferind astfel o metodă eficientă de caracterizare a proprietăților dinamice ale acestora.

Interferometria cu laser este folosită în principal pentru măsurarea mișcărilor de translație, fiind utilă în cazul micro-podurilor sau micro-membranelor, unde mișcarea principală este traducerea MEMS. Această tehnică permite evaluarea răspunsului MEMS atât în starea de echilibru, cât și în răspunsul său dinamic la stimulii aplicați.

În ceea ce privește excitarea MEMS, presiunea luminii este folosită pentru a excita structura. De exemplu, un impuls de lumină ultra-scurt este folosit pentru a provoca vibrarea unei micro-membrane circulare. Timpul foarte scurt al impulsului permite ca acesta să fie considerat un puls ideal Dirac, suficient de rapid pentru a excita vibrația structurii, iar vibrațiile generate sunt citite fie optic, fie electric, în funcție de configurația experimentului.



## Concluzii

Dispozitivele Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) reprezintă o categorie de tehnologii revoluționare, care au transformat semnificativ domenii precum medicina, industria auto, spațială și electronica de consum. Succesul acestor tehnologii este strâns legat de utilizarea surselor de radiație laser, care aduc o serie de avantaje unice prin coerența, monocromaticitatea, intensitatea și directivitatea lor. Laserele au devenit instrumente esențiale în procesul de fabricație, testare și caracterizare a MEMS-urilor, contribuind decisiv la creșterea preciziei și performanței acestora.

Unul dintre cele mai importante avantaje ale laserelor este capacitatea lor de a focaliza energia într-o zonă foarte mică, ceea ce permite procese de fabricare extrem de precise. De exemplu, gravarea cu laser este utilizată pentru a crea structuri complexe și detalii fine pe substraturile MEMS. Utilizarea laserelor Excimer pentru gravură, datorită emisiilor ultraviolete de mare precizie, minimizează efectele termice și asigură o prelucrare uniformă. În paralel, laserele Nd:YAG sunt folosite pentru aplicarea de straturi subțiri sau pentru micro-bonding, facilitând sudura exactă a componentelor critice. Aceste procese sunt indispensabile pentru dezvoltarea de dispozitive MEMS cu toleranțe reduse și performanțe ridicate.

Laserele nu sunt doar instrumente de fabricație, ci și de caracterizare. Tehnici precum interferometria laser și deflecția fascicului permit o analiză detaliată a vibrațiilor și deformărilor mecanice ale structurilor MEMS. Aceste metode contribuie la validarea funcționalității dispozitivelor în condiții dinamice și asigură calitatea lor în diverse aplicații. Utilizarea fasciculelor laser pentru a induce vibrații controlate în microstructuri oferă o metodă rapidă și precisă pentru analiza comportamentului dinamic al MEMS-urilor.

Flexibilitatea materialelor prelucrate cu ajutorul laserului este un alt punct forte. Capacitatea de a lucra cu o gamă variată de materiale, de la siliciu și polimeri la metale și materiale funcționale, face din lasere o tehnologie indispensabilă în fabricarea MEMS-urilor. Această diversitate permite dezvoltarea unor aplicații variate, de la senzori optici și actuatoare piezoelectrice la sisteme microfluidice complexe utilizate în medicină sau biotehnologie.

Un alt aspect esențial al utilizării laserelor în MEMS este eficiența procesului de fabricație. Fasciculele laser oferă viteze mari de prelucrare, ceea ce reduce semnificativ timpul de fabricație, fără a compromite calitatea. Acest avantaj este esențial în contextul cerințelor industriei moderne, care necesită produse de înaltă calitate fabricate rapid și eficient.

Progresul continuu al tehnologiilor laser și MEMS deschide perspective fascinante pentru viitor. În domenii precum sănătatea, industria auto, telecomunicațiile sau explorarea spațială, aceste tehnologii vor continua să joace un rol central. Miniaturizarea dispozitivelor, integrarea mai avansată a funcțiilor și extinderea gamei de materiale compatibile cu prelucrarea laser vor contribui la dezvoltarea unor soluții inovatoare, cu impact major asupra societății.

În concluzie, sursele de radiație laser și-au demonstrat valoarea în toate etapele ciclului de viață al MEMS-urilor, de la proiectare și fabricație până la testare și aplicare. Având în vedere cerințele tot mai ridicate ale pieței și ritmul accelerat al inovațiilor tehnologice, viitorul utilizării laserelor în MEMS este promițător, deschizând calea către noi descoperiri și aplicații cu un impact semnificativ asupra dezvoltării tehnologice globale.

## **Bibliografie**

1. "Lasere și Aplicații Industriale", Documentul furnizat.
2. Studii recente despre MEMS și fabricarea laserelor în surse deschise.

*(Se pot adăuga imagini explicative și diagrame relevante, cum ar fi schema unui laser Excimer sau o ilustrare a procesului PLD.*

3. Constantin Stănescu , “Optoelectronică și Comunicații Optice” , Editura Universității din Pitești 2015
4. "Laser Processing of Materials: Fundamentals, Applications, and Developments"  
Autor: William M. Steen, Jyotirmoy Mazumder
5. "MEMS and Microsystems: Design and Manufacture" ,Autor: Tai-Ran Hsu
6. "Microfabrication and Nanomanufacturing",Autor:Mark J. Jackson