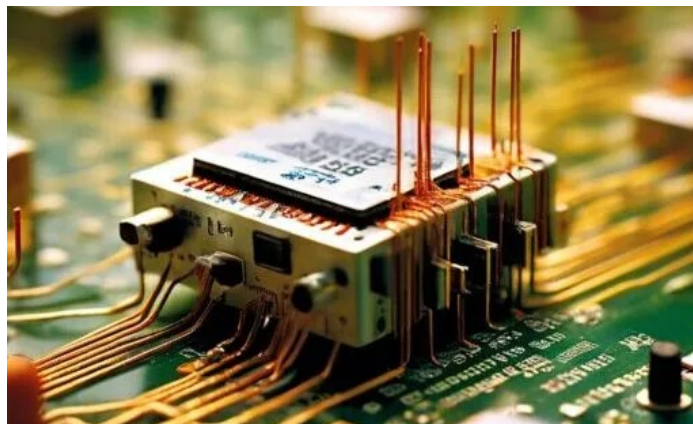




**Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Din Iași**  
**Facultatea De Electronică, Telecomunicații**  
**Și Tehnologia Informației**  
**Rețele de Comunicații**



## Microsenzori de accelerație



Student: Acreței Veronica-Maria

Grupa: 56RC

Iași, 2025

# Microsenzori de accelerație

## 1. Introducere

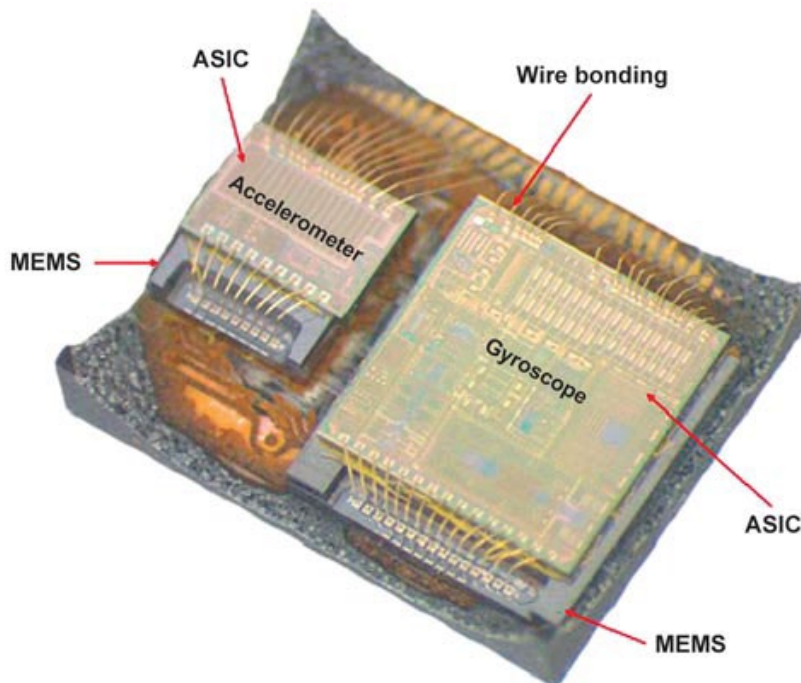
Microsenzorii de accelerație, cunoscuți și sub numele de accelerometre, reprezintă dispozitive esențiale pentru măsurarea vibrației sau accelerației mișcării unei structuri. Principiul lor de funcționare se bazează pe forța cauzată de vibrații sau de o modificare a mișcării (accelerație), care determină masa să „strângă” un material piezoelectric. Aceasta produce o sarcină electrică proporțională cu forța exercitată, și deoarece forța este legată direct de accelerație prin masa constantă a dispozitivului, senzorul poate converti aceste informații în date utile despre mișcare.

Accelerometrele sunt omniprezente în tehnologia modernă, fiind utilizate într-o varietate de aplicații, de la dispozitivele portabile precum smartphone-uri, care folosesc acești senzori pentru detectarea orientării și a mișcării, până la stații spațiale, unde monitorizează stabilitatea și vibrațiile structurilor. De exemplu, în smartphone-uri, accelerometrul detectează accelerația în diferite direcții, permițând funcții precum rotirea automată a ecranului sau activarea unor aplicații bazate pe mișcare. În mediul industrial, acești senzori sunt esențiali pentru analiza stabilității mașinilor și monitorizarea vibrațiilor nedorite, contribuind la prevenirea defecțiunilor și optimizarea performanței.

Progresele în tehnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) au permis miniaturizarea accelerometrelor, îmbunătățindu-le eficiența, precizia și accesibilitatea. Aceste caracteristici le-au extins utilizarea în numeroase domenii, incluzând electronice de consum, industria auto, aplicații medicale și multe altele. Datorită sensibilității lor ridicate și a capacității de a fi integrate cu ușurință în sisteme complexe, microsenzorii de accelerație contribuie semnificativ la creșterea siguranței, îmbunătățirea experienței utilizatorilor și dezvoltarea unor tehnologii avansate.



**Fig. 1. Diverse tipuri de accelerometre**



**Fig. 2. Accelerometru și giroscop**

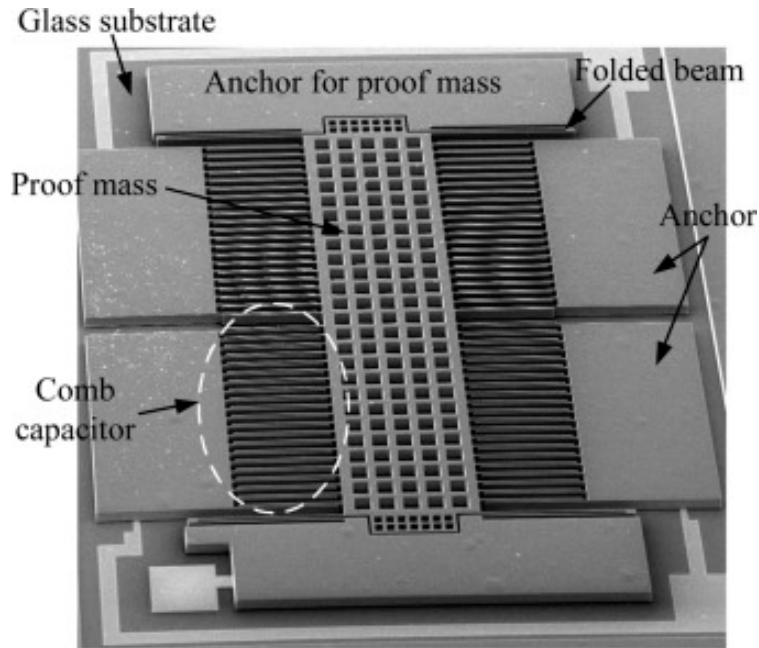
## 2. Structură

Microsenzorii de accelerație sunt construiți utilizând tehnologii avansate de microfabricare, iar structura lor integrează mai multe componente esențiale care permit detectarea și măsurarea precisă a accelerației. Principalele elemente ale acestor senzori sunt:

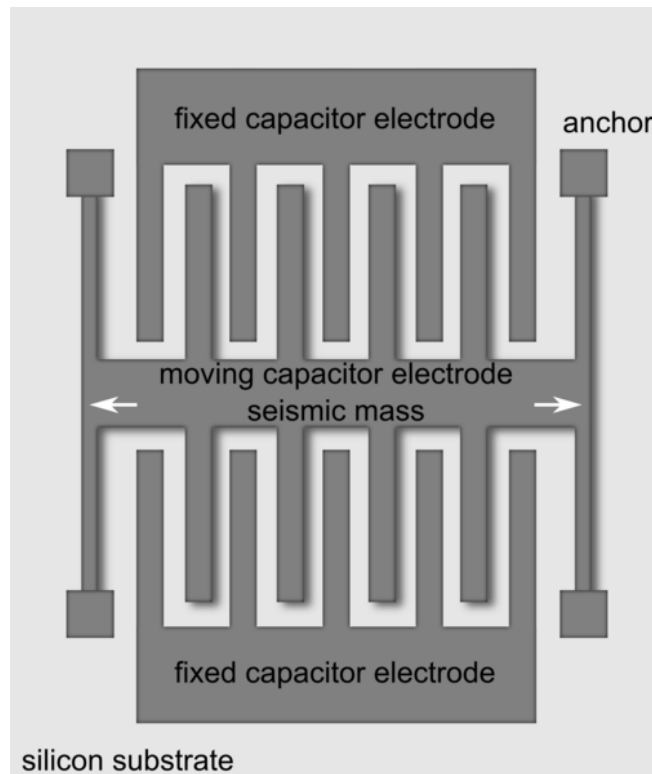
1. *Masa inerțială* – Este o componentă mobilă a sensorului care răspunde la forțele de accelerație. Aceasta este suspendată în interiorul sensorului și se deplasează atunci când dispozitivul este supus unei accelerații. În cazul accelerometrelor MEMS, masa inerțială este suspendată între două plăci paralele, formând condensatori de aer între

- masa de probă și plăci. Când masa se deplasează sub efectul accelerației, spațiul dintre plăci se modifică, generând o variație a capacității proporțională cu accelerația aplicată.
2. *Structurile de suspensie* – Acestea sunt fabricate din materiale elastice, precum siliciul, și sunt proiectate pentru a menține masa inerțială într-o poziție inițială. Ele permit masei să se deplaseze într-un mod controlat sub influența accelerației. Sistemul de suspensie poate fi ajustat pentru a modifica rigiditatea acestuia, oferind diverse game de măsurare și sensibilități adaptate aplicațiilor specifice.
  3. *Elementele de detecție* – Aceste componente sunt responsabile pentru măsurarea mișcării masei inerțiale și convertirea acesteia în semnale electrice. Printre cele mai utilizate metode de detecție se numără:
    - Detectarea capacitivă: Schimbările în poziția masei determină variații ale capacității dintre electrozi. Această tehnologie este utilizată frecvent în accelerometrele MEMS datorită costurilor reduse și capacității de a efectua măsurători statice.
    - Detectarea piezoelectrică: Materialele piezoelectrice generează un semnal electric atunci când sunt supuse unei forțe de deformare. Aceste accelerometre sunt ideale pentru măsurători dinamice și pentru aplicații la temperaturi ridicate, până la 250°C.
    - Detectarea piezorezistivă: Deformarea mecanică a materialului senzorului duce la variații ale rezistenței electrice.
    - Detectarea inductivă: Modificările accelerației determină variații ale inductanței într-o bobină plasată lângă masa inerțială.
  4. *Circuitul de condiționare a semnalului* – Amplifică și procesează semnalul analogic generat de elementele de detecție, transformându-l într-un semnal digital care poate fi utilizat de alte componente ale sistemului. În accelerometrele MEMS, circuitul integrat compensează erorile de sensibilitate și bias datorate variațiilor de temperatură, îmbunătățind liniaritatea măsurătorilor.
  5. *Substratul și carcasa* – Substratul reprezintă baza senzorului, fiind realizat din materiale semiconductoare sau ceramice. Carcasa, adesea din titan sau aluminiu, protejează componentele interne de factorii externi, cum ar fi praful, umiditatea sau variațiile extreme de temperatură. În plus, carcasa este proiectată pentru a minimiza zgomotul și interferențele externe.
  6. *Conexiunile electrice* - Asigură transmiterea semnalelor către și dinspre senzor, fiind esențiale pentru integrarea acestuia în circuite mai complexe.

7. *Amortizarea gazului (damping-ul)* – Pentru accelerometrele MEMS, amortizarea gazului este utilizată pentru a preveni saturația mecanică la frecvențe înalte, care apare atunci când masa inerțială depășește limitele de deplasare admise. Această tehnologie reduce amplificarea rezonantă, extinzând răspunsul frecvenței plane și asigurând stabilitatea măsurărilor.

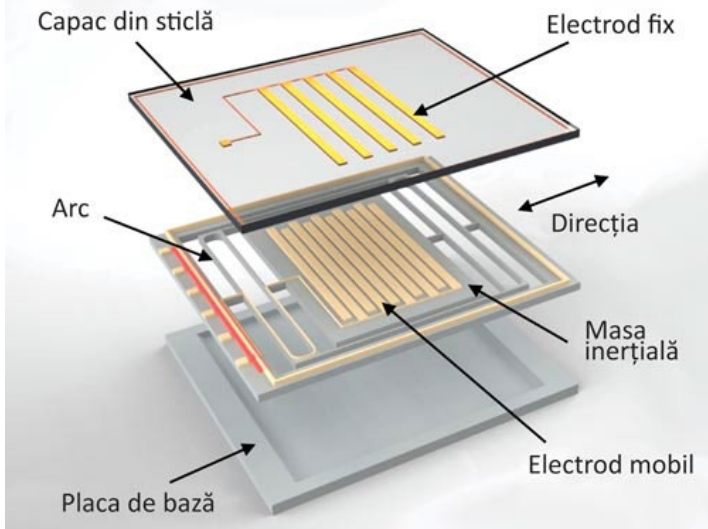
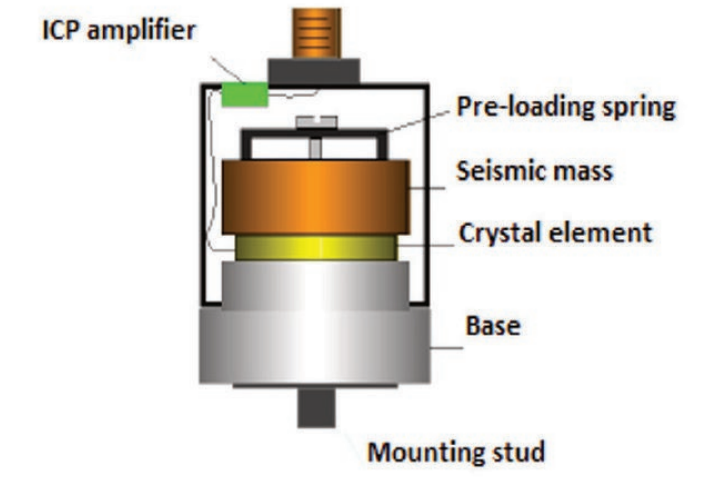
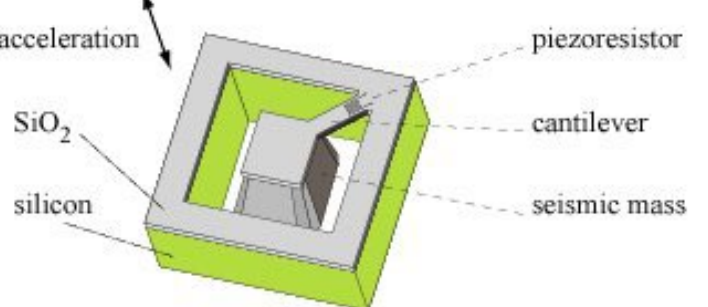


**Fig. 3. Structură detaliată accelerometru MEMS**



**Fig. 4. Structura "Capacitor pieptene"**

Accelerometrele se bazează pe diferite principii de funcționare, fiecare având aplicații și caracteristici specifice.

Tipuri de accelerometre	Imagini
<p><i>Accelerometre capacitive MEMS</i></p> <p>Utilizează mase de probă între plăci paralele pentru a detecta variațiile capacității. Acestea sunt foarte fiabile și produse la scară largă datorită costurilor reduse.</p>	 <p>Capac din sticlă</p> <p>Electrod fix</p> <p>Arc</p> <p>Dirrecția</p> <p>Masa inerțială</p> <p>Electrod mobil</p> <p>Placa de bază</p>
<p><i>Accelerometre piezoelectrice</i></p> <p>Masa de referință aplică o presiune asupra unui element piezoelectric, care generează un semnal electric proporțional cu accelerația.</p>	 <p>ICP amplifier</p> <p>Pre-loading spring</p> <p>Seismic mass</p> <p>Crystal element</p> <p>Base</p> <p>Mounting stud</p>
<p><i>Accelerometre piezorezistive</i></p> <p>Accelerația produce o deformare a unei tije elastice, iar variația rezistenței în firele de tensiune indică magnitudinea accelerației.</p>	 <p>acceleration</p> <p>SiO<sub>2</sub></p> <p>silicon</p> <p>piezoresistor</p> <p>cantilever</p> <p>seismic mass</p>

**Tabel 1. Tipuri de accelerometre**

### 3. Funcționare

Accelerometrele MEMS funcționează pe baza interacțiunilor dintre componentele lor micro-mecanice și semnalele electrice generate. Principiul fundamental al funcționării lor se bazează pe detectarea mișcărilor masei inerțiale și conversia acestora în semnale electrice interpretabile. Funcționarea implică mai multe etape esențiale:

#### 1. Detectarea mișcării masei inerțiale

Când accelerometrul este supus unei accelerații, masa inerțială suspendată de structurile de suspensie în interiorul senzorului se deplasează în raport cu carcasa fixă. Această deplasare este proporțională cu forța exercitată asupra masei, care este direct legată de accelerație.

#### 2. Conversia mișcării în semnal electric

Deplasarea masei inerțiale determină modificări fizice care sunt convertite în semnale electrice prin diverse metode:

- Metoda capacitivă: Schimbarea distanței dintre masa inerțială și plăcile fixe modifică capacitatea electrică. Aceste variații sunt transformate în semnale electrice proporționale cu accelerația.
- Metoda piezoelectrică: Forța aplicată pe un material piezoelectric generează o sarcină electrică. Acest principiu este folosit în accelerometrele MEMS pentru măsurători dinamice.
- Metoda piezorezistivă: Deformarea mecanică a senzorului modifică rezistența electrică a elementelor piezorezistive, rezultând un semnal electric proporțional cu accelerația.

#### 3. Amortizarea mișcării

Pentru a evita suprasaturația mecanică și amplificarea rezonantă la frecvențe înalte, microsenzorii de accelerație utilizează un sistem de amortizare a gazului (squeeze-film damping). Acesta ajută la stabilizarea masei inerțiale și extinde răspunsul plan al frecvenței, ceea ce este crucial pentru măsurători precise.

#### 4. Condiționarea semnalului

Semnalul electric brut generat de senzor este procesat de circuitele de condiționare integrate. Aceste circuite amplifică semnalul pentru a-l face suficient de puternic pentru utilizare, compensează erorile introduse de variațiile de temperatură sau de driftul zero, și îmbunătățesc liniaritatea și precizia măsurătorilor.

#### 5. *Interfațarea și interpretarea semnalului*

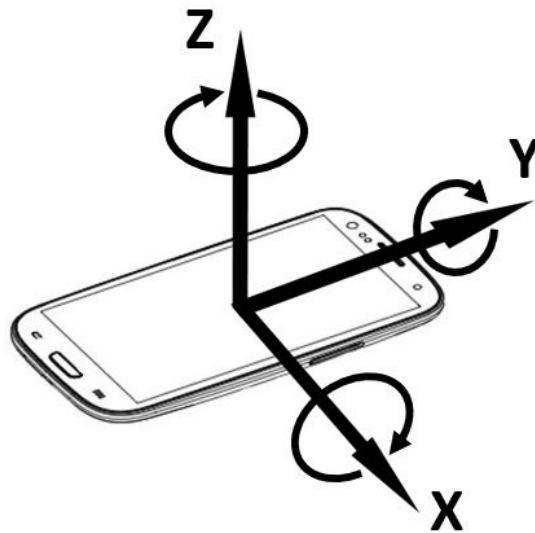
Accelerometrele MEMS produc un semnal de ieșire analogic sau digital, care poate fi interpretat de sistemele electronice pentru diverse aplicații. În aplicații precum smartphone-uri, acest semnal este utilizat pentru detectarea mișcării și orientării, în timp ce în aplicațiile industriale este utilizat pentru monitorizarea vibrațiilor și analiza condițiilor de funcționare.

#### 6. *Măsurarea multiaxială*

Majoritatea microsenzorilor de accelerație moderni sunt capabili să măsoare accelerația pe mai multe axe (de ex. X, Y și Z), oferind o imagine tridimensională a mișcării. Acest lucru este esențial pentru aplicații precum navigația și analiza detaliată a mișcării.

#### 7. *Alimentare și configurare*

Accelerometrele MEMS piezorezistive necesită o sursă de tensiune reglată pentru a menține sensibilitatea corectă. Configurarea acestora implică asigurarea unui mediu de operare stabil, evitarea buclelor de masă, și utilizarea unui circuit de punte pentru minimizarea erorilor de mod comun.



**Fig. 5. Măsurarea multiaxială**

### **4. Aplicații**

Microsenzorii de accelerație sunt utilizați pe scară largă într-o varietate de domenii industriale, comerciale și științifice, datorită dimensiunilor lor reduse, costurilor accesibile și capacității de a efectua măsurători precise. Principalele aplicații ale acestor senzori includ:



Aplicații	Imagini
<p data-bbox="349 157 609 191"><i>Dispozitive digitale</i></p> <p data-bbox="212 212 743 575">Accelerometrele sunt componente esențiale în smartphone-uri, camere digitale și alte dispozitive mobile, unde detectează orientarea dispozitivului. Acestea permit funcții precum rotirea automată a ecranului sau activarea unor aplicații bazate pe mișcare.</p>	<p data-bbox="803 157 1268 226">Versatile 3-axis accelerometer for IoT and wearable devices</p> 
<p data-bbox="261 598 695 632"><i>Vehicule și siguranța pasagerilor</i></p> <p data-bbox="212 653 743 1016">În industria auto, accelerometrele joacă un rol crucial în declanșarea airbag-urilor. În cazul unui impact brusc, senzorii detectează accelerația rapidă și trimit un semnal electronic pentru a activa airbag-ul, salvând milioane de vieți.</p>	<p data-bbox="797 611 1247 659">Central airbag sensor</p>  
<p data-bbox="310 1039 646 1073"><i>Drone și vehicule aeriene</i></p> <p data-bbox="212 1094 743 1402">Microsenzorii de accelerație sunt integrați în drone pentru a asigura stabilizarea orientării în timpul zborului. Acest lucru este esențial pentru menținerea echilibrului și pentru efectuarea manevrelor precise.</p>	
<p data-bbox="245 1432 704 1520"><i>Monitorizarea vibrațiilor în mașini rotative</i></p> <p data-bbox="212 1541 743 1850">Accelerometrele sunt utilizate pentru a detecta vibrațiile în mașinile rotative. Vibrațiile excesive pot duce la defectarea mașinilor, iar monitorizarea acestora permite intervenții preventive și creșterea duratei de viață a echipamentului.</p>	

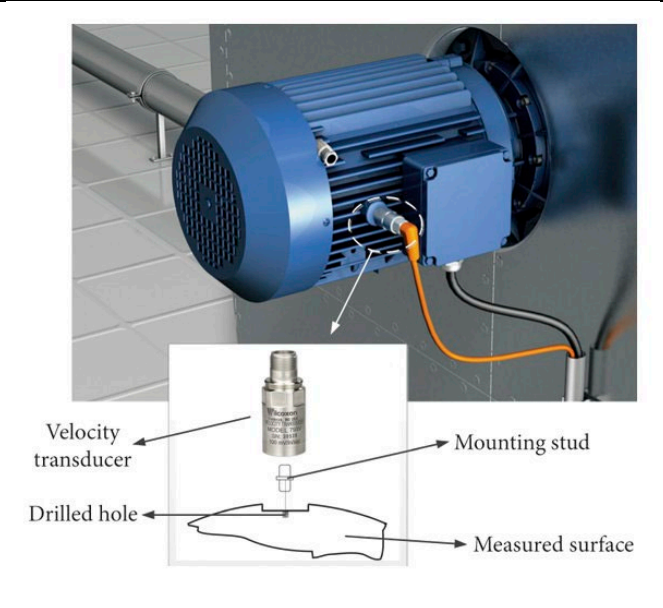
*Monitorizarea stabilității platformelor*

Pentru structuri precum poduri, porturi, platforme petroliere, sau alte platforme critice, măsurarea stabilității și a înclinării este vitală. Accelerometrele furnizează date precise care ajută la identificarea potențialelor riscuri și la menținerea siguranței, prevenind avarii cauzate de mișcări necontrolate sau factori externi.



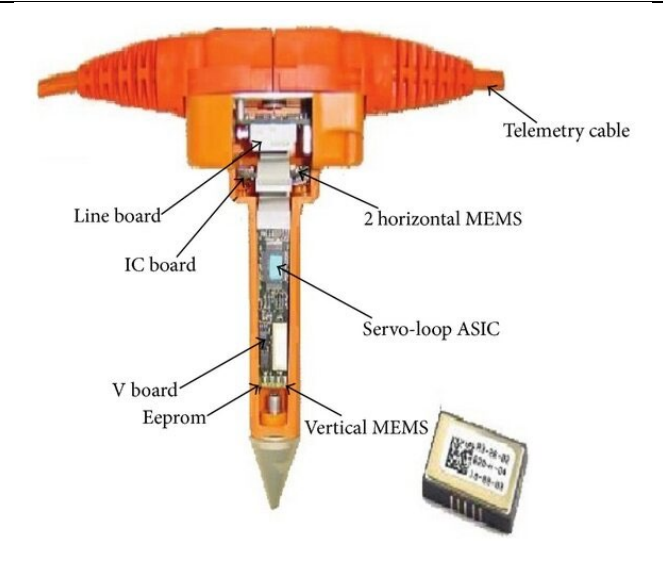
*Monitorizarea vibrațiilor*

Mașinile și echipamentele care implică mișcare generează vibrații, care, dacă sunt lăsate nesupravegheate, pot duce la deteriorări grave. Microsenzorii de accelerație sunt utilizați pe scară largă pentru monitorizarea vibrațiilor în fabrici, turbine și alte locații industriale, prevenind astfel defectele.

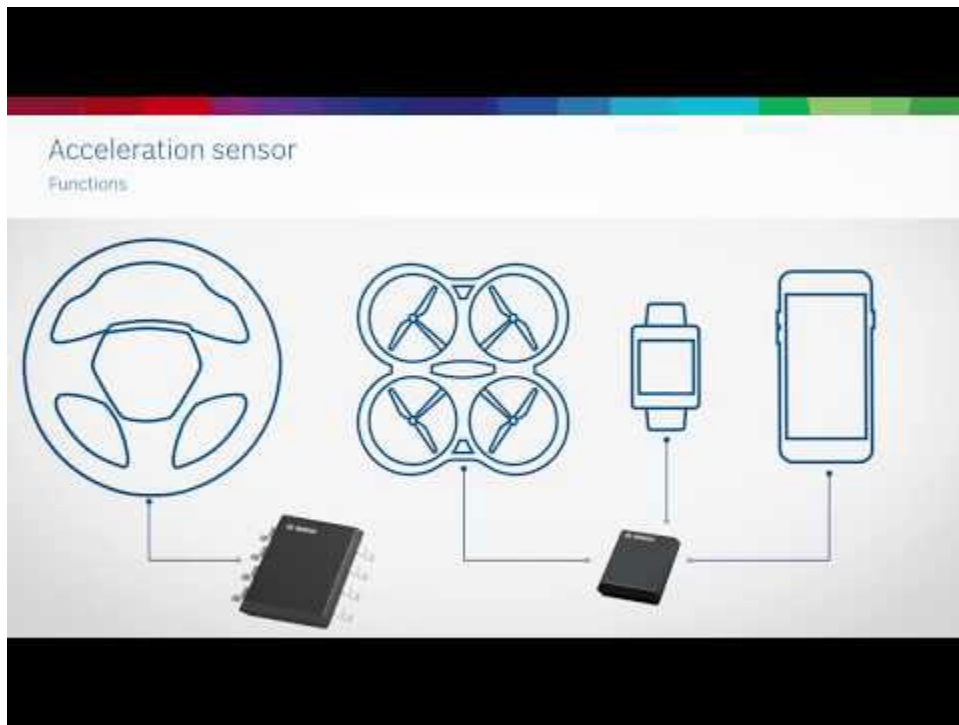


*Măsurarea cutremurelor și monitorizarea seismică*

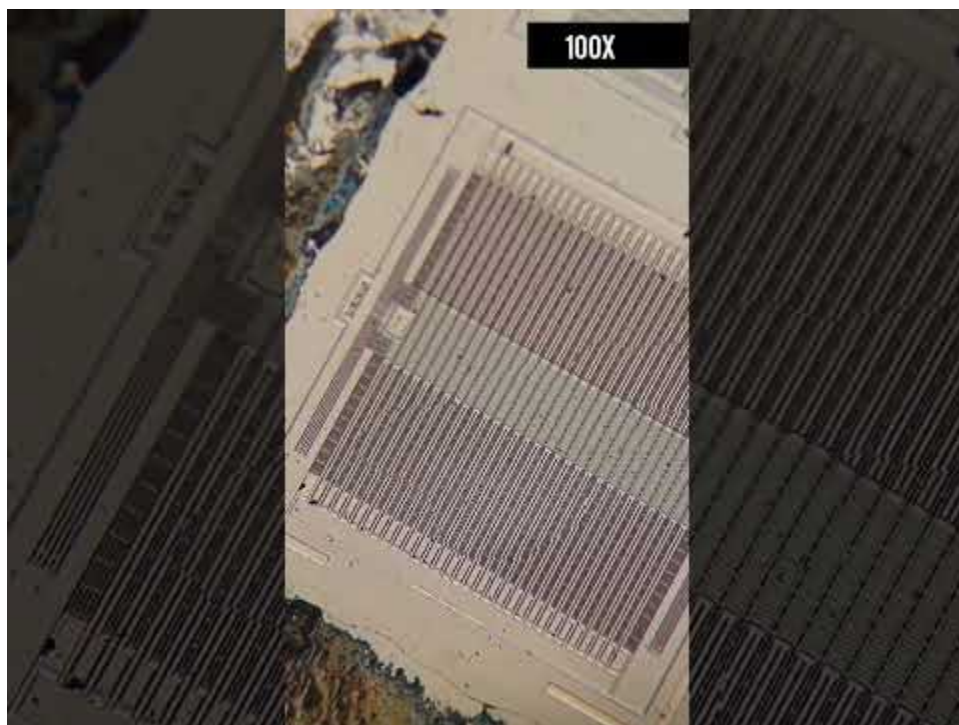
Accelerometrele sunt utilizate în aplicații de monitorizare seismică pentru a măsura accelerația în timpul cutremurelor și a detecta undele seismice.



**Tabel 2. Aplicații ale accelerometrelor**



**Video 1. Prezentare generală accelerometru MEMS**



**Video 2. Demontare senzor de accelerație MEMS**

## 5. Concluzii

În concluzie, această lucrare a explorat structura, principiile de funcționare și aplicațiile variate ale microsenzorilor de accelerație, evidențiind impactul lor tehnologic și contribuțiile semnificative în diverse industrii. Analiza avantajelor și provocărilor asociate acestor dispozitive inovatoare oferă o imagine de ansamblu asupra importanței lor în lumea modernă, cu accent pe rolul crucial pe care îl joacă în dezvoltarea tehnologică și integrarea în viața de zi cu zi.

## 6. Bibliografie

1. <https://www.omega.com/en-us/resources/accelerometers>
2. <https://www.ericointernational.com/info/the-structure-of-accelerometer-25985970.html>
3. <https://www.pcb.com/resources/technical-information/mems-accelerometers>
4. <https://www.innomic.com/en/knowledge/accelerometers/>
5. [https://global.epson.com/products\\_and\\_drivers/sensing\\_system/what\\_are\\_accelerometer/](https://global.epson.com/products_and_drivers/sensing_system/what_are_accelerometer/)
6. <https://electronica-azi.ro/accelerometre-mems/>