

**Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași**  
**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației**



**SISTEME MICRO-ELECTRO-MECANICE**  
**(MEMS)**

**CAPTAREA ENERGIEI LA NIVELUL MICROSISTEMELOR**

*Student: Păncescu Alina-Elena*

*Grupa: 55RD*

# CUPRINS

- 1. Introducere**
- 2. Principii generale ale captării energiei**
  - 2.1. Conversia energiei mecanice
  - 2.2. Conversia energiei termice
  - 2.3. Conversia energiei electromagnetice
- 3. Materiale avansate utilizate pentru captarea energiei**
  - 3.1. Materiale piezoelectrice
  - 3.2. Materiale magnetoelectrice
  - 3.3. Materiale termoelectrice
  - 3.4. Materiale triboelectrice
- 4. Tehnologii de integrare a materialelor pentru captarea energiei**
  - 4.1. Structuri hibride
  - 4.2. Tehnologii CMOS compatibile
- 5. Aplicații ale captării energiei la nivelul microsystemelor**
  - 5.1. Senzori wireless alimentați energetic
  - 5.2. Dispozitive biomedicale autonome
- 6. Avantaje și limitări**
  - 6.1. Avantaje tehnologice
  - 6.2. Limitări și perspective de îmbunătățire
- 7. Concluzii**
- 8. Bibliografie**

## **1. Introducere**

Captarea energiei la nivelul microsystemelor reprezintă un domeniu inovativ în care se explorează tehnologii ce permit convertirea energiei ambientale în electricitate utilizabilă. Această tehnologie joacă un rol vital în dezvoltarea dispozitivelor autonome, cum ar fi senzorii wireless, dispozitivele biomedicale și alte echipamente care necesită alimentare energetică sustenabilă. Eliminarea bateriilor convenționale contribuie la reducerea deșeurilor electronice și la crearea unui mediu mai prietenos cu natura. Pe lângă beneficiile de mediu, captarea energiei încurajează miniaturizarea și funcționalitatea sporită a sistemelor integrate.

Un alt avantaj al acestei tehnologii este reducerea dependenței de sursele tradiționale de energie, cum ar fi combustibilii fosili. Prin valorificarea resurselor ambientale, cum ar fi vibrațiile sau diferențele de temperatură, dispozitivele pot funcționa în mod sustenabil, reducând în același timp costurile operaționale. Spre exemplu, senzorii din infrastructuri inteligente sunt alimentați folosind aceste principii.

Captarea energiei joacă un rol esențial în IoT. Prin utilizarea tehnologiilor care exploatează energia din mediul înconjurător, rețele de senzori conectate pot opera autonom pentru perioade lungi de timp. Astfel, în orașele inteligente, sistemele de monitorizare a traficului sau a calității aerului pot beneficia de aceste progrese.

Pe lângă aplicațiile menționate, captarea energiei deschide noi oportunități în explorarea spațială, dispozitivele de monitorizare având nevoie de soluții energetice sustenabile și independente. Dezvoltarea unor materiale eficiente și a unor structuri avansate creează premisele pentru o utilizare pe scară largă a acestei tehnologii.

## **2. Principii generale ale captării energiei**

Captarea energiei implică utilizarea proceselor fizice sau chimice pentru a transforma energia disponibilă în mediul înconjurător în electricitate. Diferite surse, cum ar fi energia mecanică, termică, solară sau electromagnetică, sunt exploatate pentru a alimenta sisteme autonome. Această transformare necesară microsystemelor moderne este esențială pentru funcționarea lor în condiții optime.

Energia mecanică este considerată una dintre cele mai accesibile surse ambientale. Aceasta include vibrațiile sau mișcările din infrastructuri sau dispozitive. Energia termică, pe de altă parte, este disponibilă din căldura reziduală a sistemelor industriale sau diferențele de temperatură naturală. Energia electromagnetică, provenită din undele radio sau microunde, oferă și ea soluții promițătoare pentru captare.

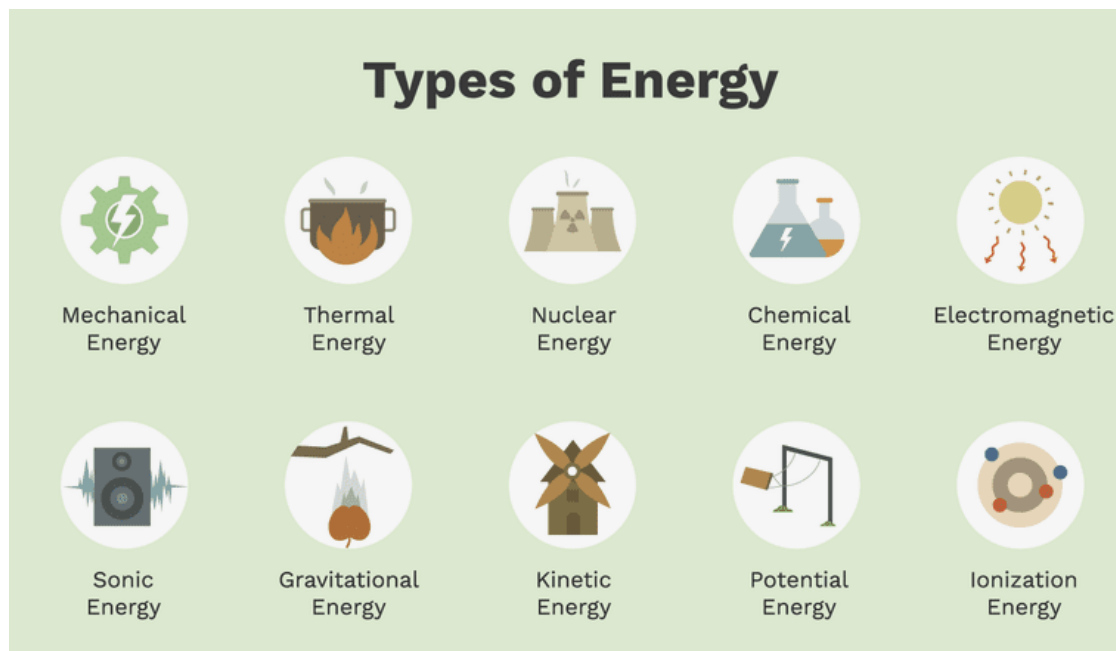


Fig 1.1 Tipuri de energie

## 2.1. Conversia energiei mecanice

Energia mecanică poate fi captată utilizând materiale piezoelectrice care produc sarcini electrice atunci când sunt supuse stresului sau deformației mecanice. Această metodă este frecvent utilizată pentru alimentarea senzorilor care monitorizează structurile de construcții sau echipamentele industriale. Energia mecanică poate proveni din vibrațiile structurilor, mișcări repetate sau impacturi mecanice. De exemplu, în mediile industriale, unde vibrațiile sunt constante, materialele piezoelectrice pot alimenta senzori care monitorizează sănătatea echipamentelor.

Un alt exemplu remarcabil este generarea de energie prin utilizarea materialelor piezoelectrice integrate în dispozitive portabile. Tălpile pantofilor, de exemplu, pot transforma energia generată de mișcările utilizatorului în electricitate pentru a alimenta gadgeturi portabile precum ceasurile inteligente.

Tehnologiile de conversie mecanică sunt în continuă dezvoltare, concentrându-se pe creșterea durabilității materialelor și reducerea pierderilor energetice. Cercetătorii explorează soluții inovatoare care permit integrarea acestor tehnologii în produse comerciale cu costuri mai mici.



Fig 1.2 Plăci piezoelectrice

[https://www.instagram.com/reel/DAiLttuM77p/?utm\\_source=ig\\_web\\_copy\\_link](https://www.instagram.com/reel/DAiLttuM77p/?utm_source=ig_web_copy_link)

## 2.2. Conversia energiei termice

Materialele termoelectrice utilizează **efectul Seebeck** pentru a transforma diferențele de temperatură în energie electrică. Acestea sunt utilizate pentru recuperarea energiei reziduale din motoare sau procese industriale. Integrarea materialelor termoelectrice în sistemele casnice, cum ar fi boilerele inteligente, oferă o soluție sustenabilă pentru reducerea consumului de energie.

Dispozitivele biomedicale utilizează din ce în ce mai des materialele termoelectrice. De exemplu, senzorii implantați pentru monitorizarea parametrilor vitali pot folosi diferențele de temperatură dintre corp și mediu pentru a se alimenta autonom. Această aplicare are implicații majore în domeniul medicinei personalizate.

Pe viitor, aceste materiale vor fi integrate în infrastructuri mari, cum ar fi clădiri eficiente energetic, unde temperaturile diferite dintre interior și exterior vor putea genera energie utilizabilă.

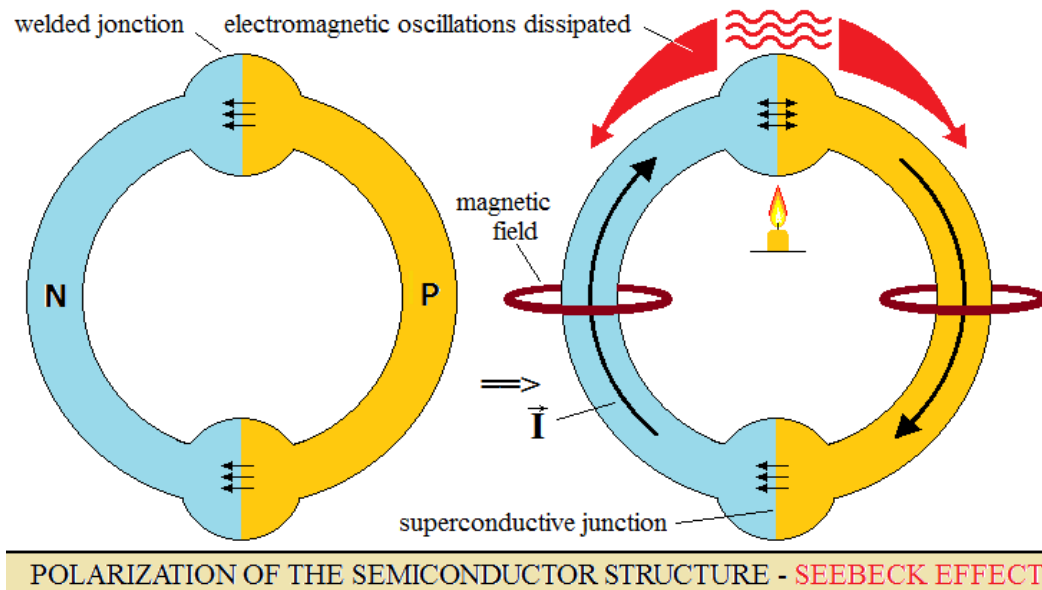


Fig 1.3 Efectul Seebeck

### 2.3. Conversia energiei electromagnetice

Undele electromagnetice prezente în mediu, de la radio până la microunde, pot fi captate folosind antene specializate. Aceasta tehnologie este esențială pentru dispozitivele IoT, care necesită o alimentare autonomă și constantă. În plus, aceste sisteme sunt deja utilizate pentru senzorii amplasați în medii izolate, cum ar fi conductele subterane sau sateliții.

De exemplu, antenele miniaturizate dezvoltate recent pot capta energie suficientă pentru alimentarea unui mic senzor de temperatură. Aceasta deschide calea către aplicații industriale și agricole, cum ar fi monitorizarea condițiilor solului. Un exemplu notabil este utilizarea **antelor array**, care constau dintr-un ansamblu de antene individuale organizate într-o matrice, permițând captarea eficientă a undelor electromagnetice. Datorită design-ului lor modular, acestea sunt ideale pentru dispozitive IoT care necesită captarea unor cantități mai mari de energie în medii variate.

Cercetările actuale se concentrează pe crearea unor antene cu sensibilitate crescută și pierderi energetice reduse, astfel încât captarea energiei electromagnetice să devină o soluție viabilă pentru diverse industrii.

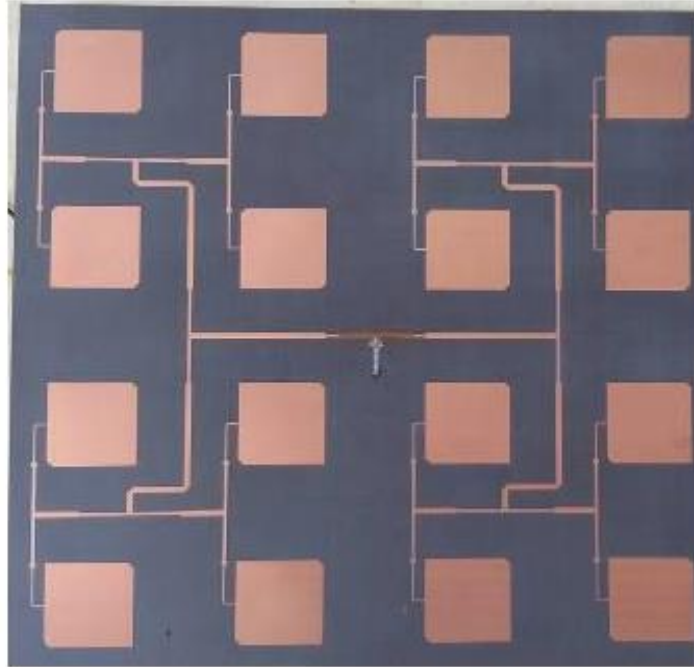


Fig 1.4 Structura antenei Array

### 3. Materiale avansate utilizate pentru captarea energiei

#### 3.1. Materiale piezoelectrice

Materialele piezoelectrice reprezintă soluții tehnologice cheie pentru captarea energiei mecanice. Aceste materiale au capacitatea de a genera o sarcină electrică atunci când sunt supuse unei forțe mecanice, fiind utilizate într-o varietate de aplicații. Un exemplu notabil este utilizarea materialelor piezoelectrice în podelele inteligente, unde energia generată de pași poate alimenta dispozitive de iluminat stradal. În infrastructura transporturilor, acestea sunt integrate în drumuri pentru a colecta energia produsă de vehiculele care trec.

În domeniul biomedical, aceste materiale sunt utilizate în stimuloare cardiace, unde energia generată de mișcările corpului asigură funcționarea autonomă a dispozitivelor. Cercetările recente explorează utilizarea polimerilor piezoelectrice, cum ar fi PVDF, datorită flexibilității și capacității lor de a se adapta la forme complexe.

Avansările tehnologice recente au condus la crearea unor materiale piezoelectrice cu o sensibilitate crescută, capabile să capteze chiar și cele mai mici vibrații. Integrarea lor în

dispozitive IoT deschide noi oportunități pentru crearea de rețele de senzori complet autonome, reducând semnificativ dependența de baterii.

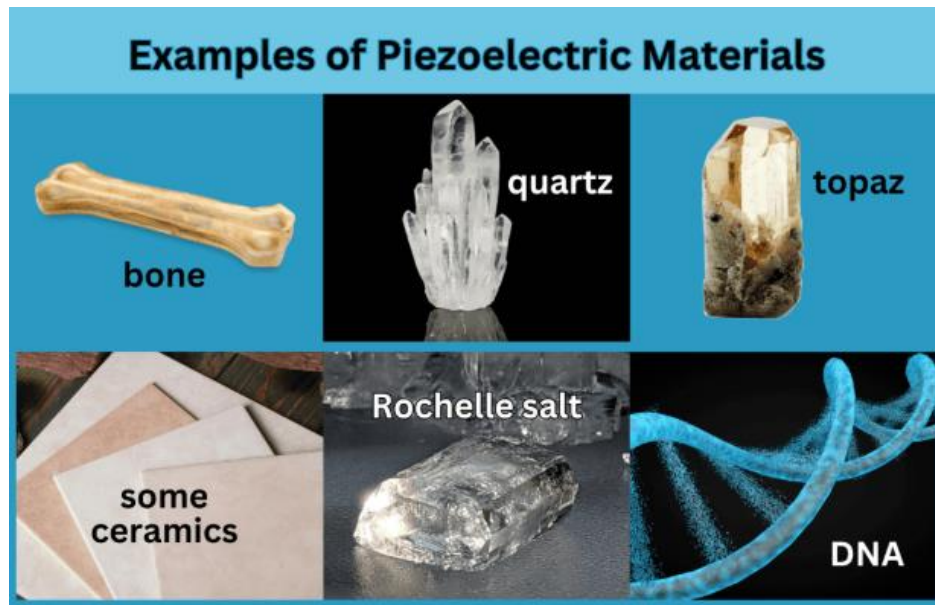


Fig 1.5 Exemple de materiale piezoelectrice

### 3.2. Materiale magnetoelectrice

Materialele magnetoelectrice combină proprietățile magnetice și piezoelectrice, oferind o metodă inovatoare de captare a energiei. Acestea sunt utilizate în mod frecvent în aplicații industriale pentru monitorizarea liniilor electrice sau în senzori care detectează modificările câmpurilor magnetice. Prin utilizarea acestor materiale, sistemele pot capta energie din câmpurile magnetice variabile, generând electricitate pentru dispozitivele conectate.

În medicină, materialele magnetoelectrice sunt cercetate pentru dezvoltarea de tehnologii non-invasive de stimulare neuronală. Aceste aplicații au potențialul de a revoluționa tratamentele pentru afecțiuni neurologice, oferind soluții mai sigure și mai eficiente.

Proiectele recente includ dezvoltarea de compozite magnetoelectrice capabile să funcționeze în condiții extreme, deschizând calea către utilizarea lor în explorarea spațială sau în industria aerospațială. Aceste materiale sunt, de asemenea, esențiale în crearea de generatoare miniaturizate pentru dispozitive portabile.



Material	Tip	Aplicații	Proprietăți
<b>BiFeO<sub>3</sub></b> (bismut ferit)	Oxid multiferroic	Senzori, dispozitive de stocare a datelor, actuatori	Prezintă ferroelectricitate și ferimagnetism simultan
<b>Pb(Fe<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub></b>	Perovskit magnetoelectric	Componente pentru circuite electronice	Efecte magnetoelectrice puternice
<b>Terfenol-D</b>	Aliaj magnetostrictiv	Convertori de energie, transductori, actuatori	Deformare sub câmp magnetic (magnetostricție)
<b>NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b> (nichel ferit)	Oxid ferimagnetic	Sisteme de filtrare RF, dispozitive magnetice	Compatibilitate magnetică și efect piezoelectric
<b>CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b> (cobalt ferit)	Oxid ferimagnetic	Memorie magnetică, detectoare	Stabilitate magnetică și sensibilitate electrică
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> (oxid de crom)	Oxid antiferromagnetic	Dispozitive optomagnetice, senzori	Efecte magnetoelectrice în prezența câmpurilor electrice/magnetice

Fig 1.6 Exemple de materiale magnetoelectrice

### 3.3. Materiale termoelectrice

Materialele termoelectrice sunt utilizate pentru a transforma diferențele de temperatură în energie electrică, fiind esențiale în aplicații industriale și casnice. Un exemplu concret este utilizarea acestor materiale în centralele electrice, unde energia termică reziduală este convertită în electricitate, îmbunătățind eficiența energetică generală.

Un material de referință în acest domeniu este **telurura de bismut (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)**, considerată unul dintre cele mai eficiente materiale termoelectrice pentru aplicații la temperatura camerei. Proprietățile sale excelente de conversie a căldurii în energie electrică o fac ideală pentru utilizări în dispozitive portabile, răcitoare sau generatoare termoelectrice. Alte materiale utilizate includ:

**Telurura de plumb (PbTe):** eficientă la temperaturi mai ridicate, ideală pentru generarea de energie din căldura industrială.

**Siliciu-germaniu (SiGe):** utilizat în medii extreme, cum ar fi în aplicații spațiale, datorită stabilității sale termice.

**Aliajul de bismut-antimoniu (Bi-Sb):** performanțe ridicate la temperaturi scăzute, fiind utilizat în aplicații criogenice.

Dispozitivele portabile, cum ar fi ceasurile inteligente, utilizează materiale termoelectrice pentru a genera energie din diferențele de temperatură dintre pielea utilizatorului și mediul înconjurător. Această inovație elimină necesitatea încărcării frecvente a dispozitivelor și deschide noi perspective pentru electronica de consum.

Un alt domeniu promițător este cel al vehiculelor electrice, unde sistemele termoelectrice recuperează căldura generată de motor pentru a alimenta componentele auxiliare. Cercetările actuale se concentrează pe dezvoltarea de materiale termoelectrice cu performanțe îmbunătățite, capabile să genereze mai multă energie din aceleași surse de căldură.

Astfel, telurura de bismut rămâne un punct de referință pentru inovațiile din domeniu, datorită performanței sale excepționale.

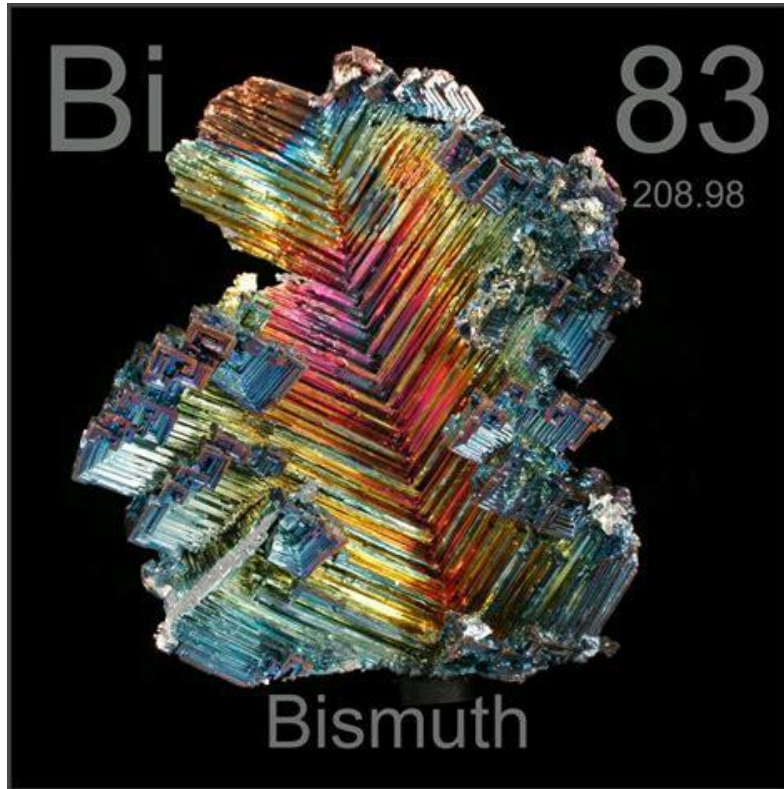


Fig 1.7 Bismut

### 3.4. Materiale triboelectrice

Materialele triboelectrice funcționează pe principiul generării de electricitate prin frecare sau contact repetat între două suprafețe. Aceste materiale sunt utilizate în principal în dispozitive portabile și senzori de mișcare, fiind integrate în echipamente sportive pentru monitorizarea activităților fizice. Un exemplu remarcabil este utilizarea materialelor triboelectrice în încălțăminte sportivă, unde energia generată în timpul mersului poate alimenta dispozitive electronice mici.

Printre cele mai utilizate materiale triboelectrice se numără **fluorura de poliviniliden (PVDF)**, cunoscută pentru flexibilitate și performanțe excelente, **teflonul (PTFE)**, datorită capacității sale de a câștiga electroni, și **textilele conductoare**, care sunt ideale pentru integrarea în dispozitive portabile. Alte materiale comune includ **sticla**, care pierde electroni ușor, și **nanocompozitele hibride**, dezvoltate pentru aplicații avansate.

În agricultură, aceste materiale sunt folosite pentru a dezvolta senzori autonomi care monitorizează condițiile solului și ale culturilor. Generatoarele triboelectrice sunt, de asemenea, utilizate în electronica flexibilă, unde capacitatea lor de a funcționa în condiții variate le face ideale pentru aplicații de monitorizare a sănătății sau în medii industriale. Cercetările recente explorează noi combinații de materiale pentru a crește eficiența și durabilitatea acestor sisteme.



Fig 1.8 Materiale triboelectrice în dispozitive portabile

## 4. Tehnologii de integrare a materialelor pentru captarea energiei

### 4.1. Structuri hibride

Structurile hibride sunt o inovație esențială în captarea energiei, combinând mai multe tipuri de materiale pentru a maximiza eficiența energetică. Aceste structuri integrează de obicei materiale piezoelectrice, termoelectrice sau triboelectrice într-un singur sistem, permițând captarea energiei din surse multiple simultan. Spre exemplu, o structură hibridă utilizată în infrastructurile de transport poate combina energia generată de vibrații cu cea rezultată din variațiile de temperatură.

În domeniul clădirilor inteligente, structurile hibride sunt integrate în podele, pereți sau sisteme de ventilație pentru a capta atât energia mecanică, cât și cea termică. Aceste structuri contribuie la reducerea consumului de energie din surse convenționale, sprijinind astfel sustenabilitatea energetică.

De asemenea, în domeniul biomedical, structurile hibride sunt utilizate pentru alimentarea dispozitivelor implantabile, cum ar fi stimulatoarele cardiace, combinând energia mecanică generată de bătăile inimii cu energia termică din diferențele de temperatură corporală.



Fig 1.9 Dispozitiv care captează simultan energia mecanică și termică

#### 4.2. Tehnologii CMOS compatibile

Tehnologiile CMOS compatibile permit integrarea materialelor de captare a energiei în dispozitive miniaturizate, cum ar fi senzorii biomedicali sau sistemele IoT. Aceste tehnologii oferă avantaje semnificative în ceea ce privește reducerea costurilor de producție și scalabilitatea dispozitivelor. De exemplu, senzorii CMOS pot fi echipați cu materiale piezoelectrice sau termoelectrice, permițându-le să funcționeze autonom prin captarea energiei din mediul înconjurător.

În aplicațiile industriale, tehnologiile CMOS compatibile sunt utilizate pentru monitorizarea proceselor de fabricație, senzorii integrându-se perfect în rețelele de automatizare. Aceste soluții contribuie la reducerea pierderilor energetice și la creșterea eficienței operaționale.

Recent, cercetările în domeniu au condus la dezvoltarea de circuite CMOS flexibile, care pot fi integrate în textile inteligente sau dispozitive portabile, deschizând noi oportunități în domenii precum moda tehnologică sau sănătatea digitală.

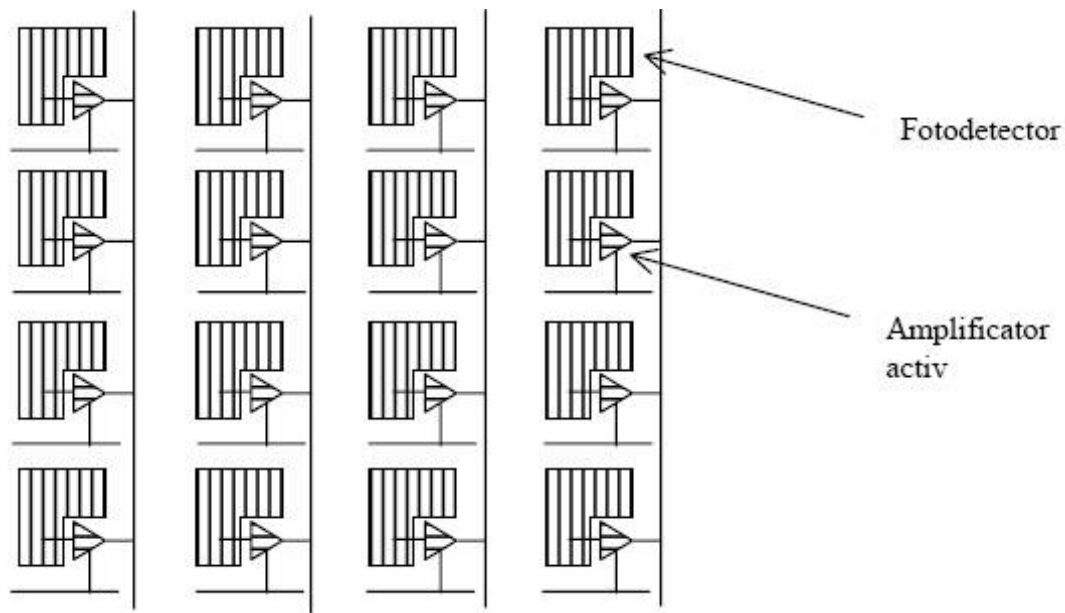


Fig 1.10 Exemplar schematic al unui senzor CMOS

## 5. Aplicații ale captării energiei la nivelul microsystemelor

### 5.1. Senzori wireless alimentați energetic

Senzorii wireless alimentați prin captarea energiei sunt esențiali pentru dezvoltarea infrastructurilor inteligente. Acești senzori sunt utilizați pentru monitorizarea structurală a clădirilor, podurilor sau drumurilor, captând energie mecanică generată de vibrațiile structurale. De exemplu, un pod inteligent poate utiliza acești senzori pentru a detecta uzura sau eventualele fisuri, fără a necesita întreținere frecventă.

În agricultură, senzorii wireless sunt folosiți pentru monitorizarea umidității solului, a temperaturii și a altor factori. Aceștia captează energie din surse ambientale, cum ar fi lumina solară sau vibrațiile produse de vânt, eliminând nevoia bateriilor tradiționale. Acest lucru permite extinderea duratei de viață a senzorilor și reducerea costurilor asociate întreținerii.

În domeniul sănătății, senzorii wireless alimentați energetic sunt utilizați pentru monitorizarea pacienților la distanță, fiind integrați în dispozitive portabile care captează energie din mișcările utilizatorului. Aceste aplicații contribuie la îmbunătățirea calității vieții și la reducerea dependenței de baterii tradiționale.

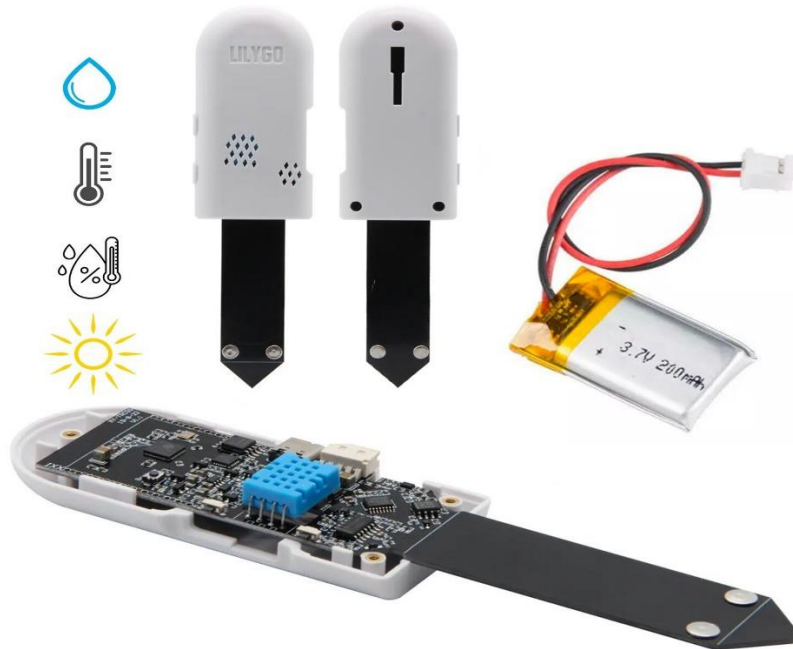


Fig 1.11 Senzor de umiditate wireless auto-alimentat

## 5.2. Dispozitive biomedicale autonome

Dispozitivele biomedicale autonome, cum ar fi stimulatoarele cardiace sau senzorii implantați, necesită surse de energie sigure și fiabile. Captarea energiei din mișcările corpului sau diferențele de temperatură oferă o soluție practică pentru alimentarea acestor dispozitive, eliminând nevoia intervențiilor chirurgicale pentru înlocuirea bateriilor.

Un exemplu notabil este utilizarea materialelor termoelectrice pentru a capta energia termică produsă de corpul uman. Aceasta este transformată în electricitate utilizabilă, asigurând funcționarea continuă a dispozitivului biomedical. Alte aplicații includ utilizarea materialelor piezoelectrice în implanturi, care transformă mișcările naturale ale corpului în energie.

Un exemplu de implant ce include utilizarea materialelor piezoelectrice este implantul Cochlear cu alimentare piezoelectrică. Un implant auditiv care folosește vibrațiile sonore pentru a genera energia necesară funcționării sale, oferind o soluție sustenabilă pentru persoanele cu deficiențe de auz.

Aceste dispozitive autonome nu doar că îmbunătățesc siguranța pacienților, dar contribuie și la reducerea costurilor medicale, datorită eliminării întreținerii frecvente. Cercetările actuale se concentrează pe miniaturizarea acestor sisteme și pe creșterea eficienței energetice, astfel încât să poată fi utilizate pe scară largă.

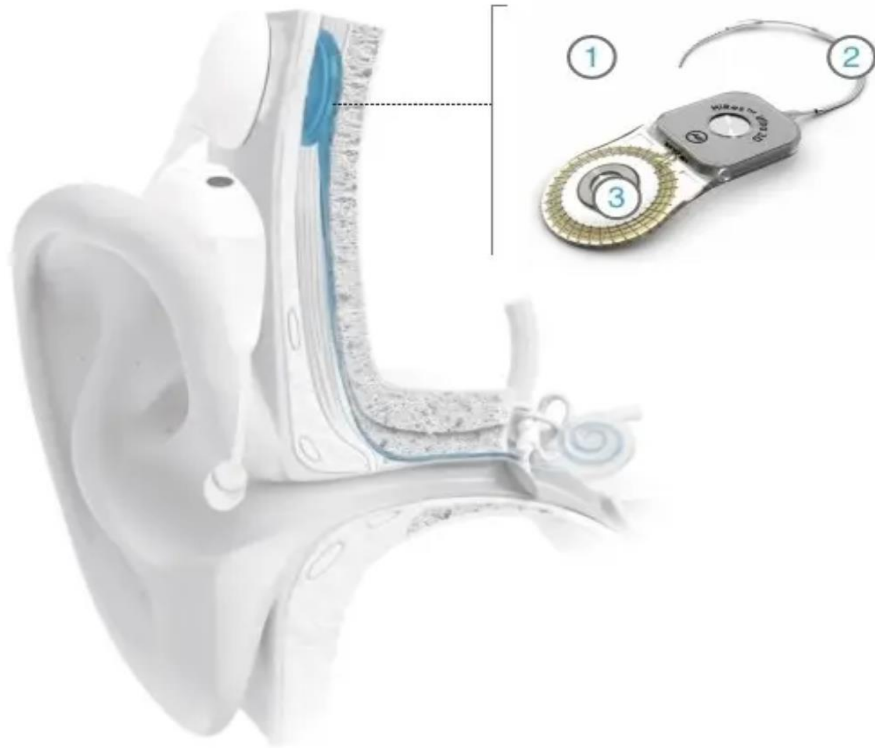


Fig 1.12 Implant Cochlear cu alimentare piezoelectrică

## 6. Avantaje și limitări

### 6.1. Avantaje tehnologice

Captarea energiei la nivelul microsistemelor oferă numeroase avantaje, cum ar fi reducerea dependenței de surse externe de energie, extinderea duratei de viață a dispozitivelor și sustenabilitatea energetică. Aceste tehnologii permit funcționarea autonomă a dispozitivelor în medii izolate, unde alimentarea tradițională este dificilă sau imposibilă.

În plus, captarea energiei sprijină dezvoltarea infrastructurilor inteligente, contribuind la reducerea emisiilor de carbon și la crearea unor orașe mai sustenabile. Prin integrarea acestor tehnologii în dispozitive portabile și purtabile, utilizatorii beneficiază de soluții mai eficiente și mai ușor de utilizat.

## 6.2. Limitări și perspective de îmbunătățire

Limitările actuale ale captării energiei includ costurile ridicate ale materialelor și eficiența scăzută a conversiei energetice în anumite condiții. De exemplu, materialele termoelectrice necesită diferențe de temperatură semnificative pentru a funcționa optim, ceea ce poate restricționa aplicațiile lor în medii cu variații termice reduse.

O altă provocare este integrarea acestor tehnologii în sisteme existente fără a compromite performanța sau durabilitatea. Cercetările viitoare se concentrează pe dezvoltarea de materiale mai accesibile, cu performanțe îmbunătățite, și pe crearea de tehnologii care să maximizeze captarea energiei din surse variate.

În ciuda acestor provocări, captarea energiei continuă să fie un domeniu de cercetare cu potențial imens. Dezvoltarea de structuri hibride și utilizarea nanotehnologiilor pot duce la crearea unor dispozitive mai eficiente și mai adaptabile.

## 7. Concluzii

Captarea energiei la nivelul microsystemelor reprezintă o soluție esențială pentru dezvoltarea dispozitivelor autonome și sustenabile. Utilizarea materialelor avansate, cum ar fi cele piezoelectrice, termoelectrice, magnetoelectrice și triboelectrice, a deschis noi oportunități pentru o gamă variată de aplicații, de la infrastructuri inteligente la dispozitive biomedicale.

Progresele tehnologice recente au demonstrat că aceste soluții sunt viabile atât din punct de vedere economic, cât și ecologic. Integrarea tehnologiilor CMOS compatibile și a structurilor hibride a permis crearea de sisteme mai eficiente și mai accesibile, contribuind la transformarea digitală a societății. În plus, prin reducerea dependenței de baterii și prin utilizarea surselor regenerabile de energie, captarea energiei joacă un rol cheie în tranziția către o economie verde.

În domeniul biomedical, captarea energiei din surse naturale, cum ar fi mișcările corpului sau diferențele de temperatură, a revoluționat modul în care sunt alimentate dispozitivele implantabile. Aceste inovații nu doar că îmbunătățesc siguranța pacienților, dar și reduc costurile pe termen lung prin eliminarea necesității de întreținere frecventă. De asemenea, dezvoltarea nanotehnologiilor permite miniaturizarea dispozitivelor și creșterea eficienței energetice, deschizând noi oportunități în domenii precum monitorizarea sănătății și diagnosticul precoce.

În agricultură și infrastructuri inteligente, captarea energiei a condus la implementarea de soluții autonome care optimizează utilizarea resurselor și îmbunătățesc sustenabilitatea. Senzorii alimentați energetic permit monitorizarea continuă a condițiilor ambientale, contribuind la reducerea pierderilor și la creșterea productivității. Acest lucru este esențial într-o lume care se confruntă cu provocări legate de schimbările climatice și creșterea populației.



Pe măsură ce tehnologiile evoluează, provocările actuale, cum ar fi costurile ridicate și eficiența scăzută a conversiei energetice în anumite aplicații, vor fi probabil depășite. Cercetările orientate către dezvoltarea unor materiale mai accesibile și mai performante, precum și optimizarea tehnologiilor existente, vor accelera integrarea acestor soluții în viața cotidiană.

În concluzie, captarea energiei la nivelul microsystemelor nu este doar o tehnologie promițătoare, ci o necesitate în contextul tranziției către surse de energie regenerabilă. Cu progrese continue în cercetare și dezvoltare, aceste soluții vor deveni din ce în ce mai accesibile, transformând modul în care interacționăm cu tehnologia și mediul înconjurător. Astfel, captarea energiei rămâne o piatră de temelie pentru viitorul sustenabil al societății noastre.

## 8. Bibliografie

- [1] <http://telecom.etc.tuiasi.ro/telecom/staff/dionescu/MEMS%20curs/MEMS%20curs.htm>
- [2] <https://electronica-azi.ro/antene-pentru-iot/>
- [3] <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-and-experiment-of-a-rectenna-array-base-on-Jian-Yang/da96aef1b0e5d09eecd135708aff47575a279e6>
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_array](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_array)
- [5] <https://clarfon.ro/implantul-cohlear/>
- [6] <https://ro.scribd.com/document/638425506/Aplicatie-a-efectului-seebeck-Marcela>
- [7] <https://www.atomic-model-fluenic.com/Romana/Sudate.htm>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=85EX0LpDrVo>
- [9] Karthikeyan, J. "Applications of Magnetolectric Materials," *IEEE Sensors Journal*, 2020.
- [10] Korvink, Jan G., and Oliver Paul. *MEMS: A Practical Guide to Design, Analysis, and Applications*. Springer, 2006.