

# **Micro-sisteme de răcire cu nanofluid ca și fluid de lucru**

Rezumatul tezei de doctorat

Universitatea Politehnica Timișoara

**ing. Laza Ioan**

**Conducător științific:**

**Prof. dr.ing. Dorin LELEA**

**2016**

Miniaturizarea dispozitivelor și aparatelor în domeniul electronic sau medical a înregistrat o tendință accentuată în ultimele două decenii. Odată cu micșorarea dimensiunii caracteristice, fenomenele hidrodinamice și termice precum încălzirea vâscoasă, dependența proprietăților termofizice ale fluidelor de temperatura sau conducția axială au o importanță deosebită. Proiectarea și dimensionarea micro-sistemelor este în mare măsură influențată de aceste fenomene.

Aplicațiile microsystemelor termice le regăsim în microelectronică, sisteme Micro – Electro – Mecanice (MEMS), micro – motoare termice, micro bio-reactoare, micro laboratoare de tip Lab – on – Chip și aplicații aerospațiale.

În cazul dispozitivelor micro-electronice sau a pilelor de combustie, densitatea fluxului de căldură atinge valori foarte ridicate, uneori peste  $10^6 \text{ W/m}^2$ . Conform estimărilor International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS 2011) până în 2026 densitatea fluxului de căldură referitoare la componentele IT va depăși  $800 \text{ W/cm}^2$  (fig.1.1) [1]. Pentru o funcționare corespunzătoare temperatura maximă a microdispozitivelor trebuie menținută sub o anumită limită. Sistemele de răcire folosite pentru managementul termic al microdispozitivelor electronice se bazează pe folosirea combinată a fenomenelor de convecție și conducție termică.

Microdispozitivele de răcire sunt constituite dintr-o serie de microcanale cu un raport lungime/diametru foarte mare. Prin urmare criteriul Nusselt poate fi considerat, într-o primă aproximare, constant. În consecință, prin scăderea diametrului echivalent al canalului, coeficientul de convecție crește. În fig. 1.2 se prezintă variația coeficientului de convecție în funcție de diametrul echivalent al canalului:

$$h = \text{Nu} \frac{\lambda}{D}$$

Astfel se observă că pentru apă, diametrul echivalent de  $100 \mu\text{m}$  și condiția la limită pe perețele canalului de  $q = \text{const}$  ( $\text{Nu} = 4.36$ ), coeficientul de convecție are valoarea de  $h \cong 30000 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Dezavantajul sistemului de răcire cu microcanale constă în valori foarte mari ale căderii de presiune. În cazul raportului dintre căderea de presiune și lungimea canalului, valoarea lui crește cu pătratul diametrului echivalent  $1/D^2$  (Fig. 1.3):

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{f Re \cdot u_m \cdot \mu}{2 \cdot D^2}$$

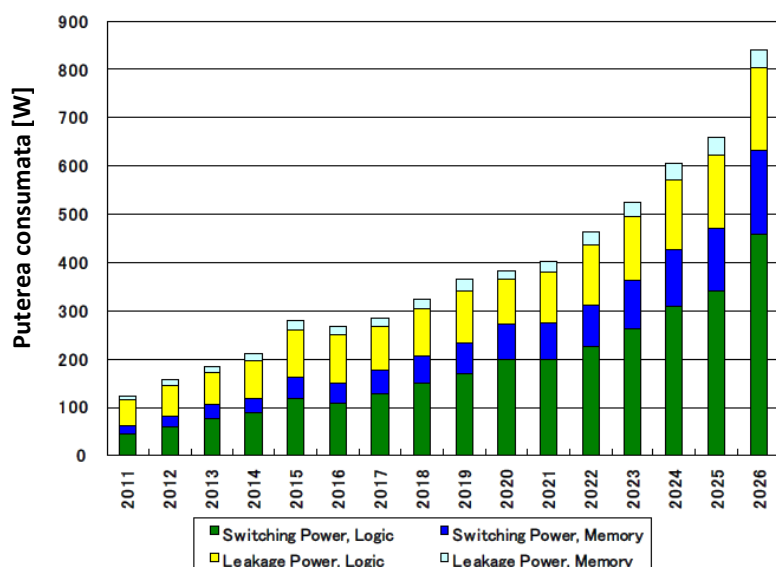


Figura 1.1 Evoluția consumului de putere a componentelor IT (ITRS 2011)

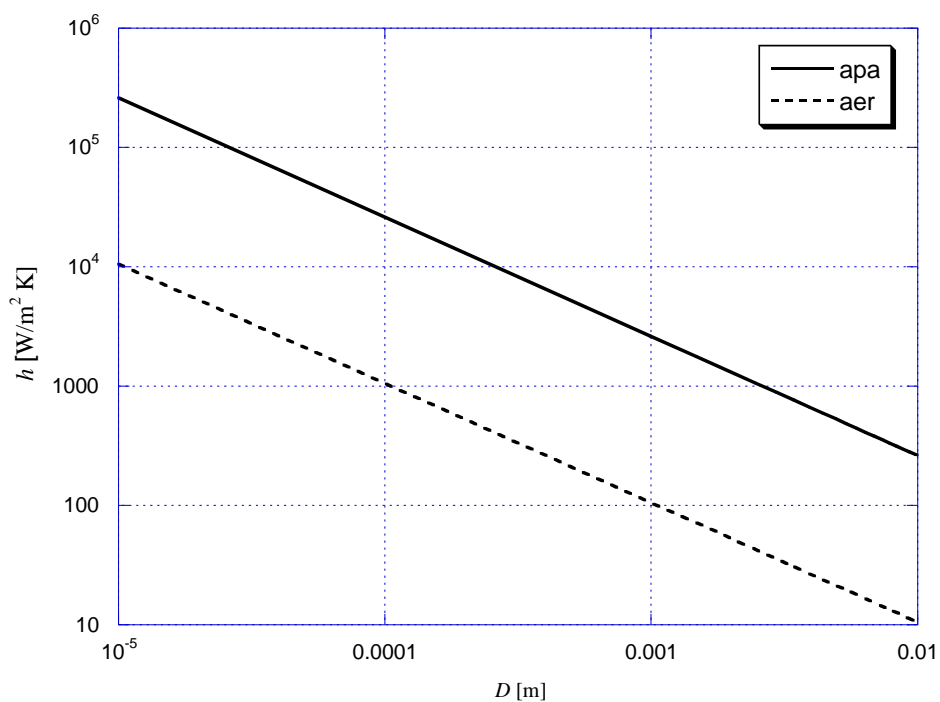


Figura 1.2 Variația coeficientului de convecție în funcție de diametrul tubului

Nanofluidelor au fost prima dată definite și realizate de Choi [2] ca o suspensie de nanoparticule în fluidul de bază. Avantajul folosirii unor astfel de fluide constă în creșterea conductivității termice față de fluidul de bază. Valori comparative ale apei și nanoparticulelor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sau  $\text{TiO}_2$  sunt prezentate în tabelul 1.1. În schimb, valorile capacității termice masice sunt mai mici comparativ cu fluidul de bază. Totodată și viscozitatea nanofluidelor este mai mare, fiind o suspensie compusă din nanoparticule și lichid. Pentru nanofluide cu participare volumică de până la  $\phi = 7\%$  creșterea viscozității este de 20 – 40 % față de fluidul de bază. Creșterea viscozității are ca efect o creștere a puterii de pompare.

Nanofluidelor pot reprezenta o soluție avantajoasă din punct de vedere termic, și pentru sistemele din domeniul energiilor regenerabile. Colectoarele solare, panourile solare concentrate, celulele fotovoltaice concentrate sau dispozitivele de desalinizare a apei sunt doar unele dintre exemple. De asemenea, studiul fundamental al nanofluidelor reprezintă o condiție pentru realizarea unor micro-sisteme medicale de mixare, precum dispozitive de administrare a nanomedicamentelor destinate remedierii unor boli degenerative precum Parkinson.

Tabelul 1.1 Proprietățile termofizice ale apei și nanoparticulelor

Proprietatea termofizică	Apa	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$
Diametrul particulei [nm]		40	20
Densitatea [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	998	3000	3940
Căldura specifică [ $\text{J}/\text{kg K}$ ]	4183	880	710
Conductivitatea termică [ $\text{W}/\text{m K}$ ]	0.6	42.35	8.4

Teza de doctorat abordează diverse aspecte aferente problemelor legate de sistemele de răcire pentru surse de mare putere. Ca urmare a solicitărilor pentru soluții performante de răcire a surselor cu densitate mare a fluxului de căldură, în cadrul lucrării s-a propus un concept hibrid de răcire care cuprinde două modalități diferite de intensificare a schimbului de căldură. Primul, care se referă la curgerea prin microcanale, prin care coeficientul de convecție este intensificat prin scăderea diametrului. Al doilea implică folosirea nanofluidelor la care nanoparticulele metalice suspendate în fluidul de bază rezultă cu o conductivitate termică mai mare decât cea a fluidului de bază.

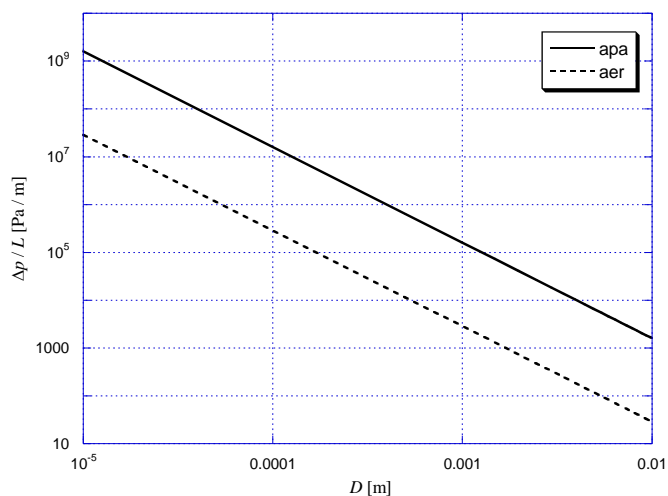


Figura 1.3 Variația căderii de presiune liniare în funcție de diametrul tubului

Totuși, cele două modele au și dezavantaje precum curgerea și transferul termic în regimul complet dezvoltat în cazul curgerii prin microcanale sau scăderea capacității termice masice și creșterea viscozității, în cazul nanofluidelor. Lucrarea de față încearcă să rectifice unele dintre dezavantaje și să optimizeze dispozitivul de răcire propus.

O altă problemă este legată de definirea criteriilor de evaluare ale parametrilor care definesc performanțele termice și fluidodinamice ale microdispozitivului termic. Analiza respectiva trebuie realizată în contextul variației proprietăților fizice ale nanofluidelor.

Un aspect important de care s-a ținut cont în cadrul cercetării îl reprezintă validarea rezultatelor obținute prin simulări numerice. Ținând cont de complexitatea fenomenelor din micro-sistemul hibrid de răcire propus, compararea rezultatelor numerice s-a realizat cu rezultatele experimentale obținute din patru experimente diferite: Micro-disipator de căldură cu tuburi simple și secțiuni de intrare frontale, tuburi cu diametre convenționale și intrări tangențiale ale fluidului, disipator de căldură cu intrări tangențiale ale fluidului cu diametrul tuburilor de 4 mm și nanofluid. Abaterea maximă observată în toate cazurile analizate este de 8 %.

În conceptul propus nanofluidelor au un rol important. Prin urmare optimizarea micro-sistemului de răcire a fost realizată ținând cont de parametrii precum conductivitatea termică a nanoparticulelor, concentrația și diametrul nanoparticulelor sau viscozitatea nanofluidelor. Așa

cum s-a arătat în capitolele 5 și 6, parametrii menționați au un rol important asupra performanțelor microdispozitivului termic.

În capitolul 4 s-a prezentat sistemul hibrid propus pentru răcirea surselor cu mare densitate a fluxului de căldură. Totodată se prezintă și o analiză numerică referitoare la oportunitatea folosirii nanofluidelor în schimbătoare de căldură cu micro-canale cu o curgere turbionară. Se ia în considerare nanofluidul  $Al_2O_3$  / apă cu diferite concentrații volumice sau diametre de particule, iar rezultatele sunt comparate cu cele obținute pentru apă. Se știe ca atât conductivitatea termică, dar și vâscozitatea nanofluidelor sunt mai mari, iar căldura specifică este mai mică în comparație cu proprietățile apei.

Rezultatele numerice obținute pentru schimbătorul de căldură cu micro-canale tangențiale cu multiple intrări arată că toate concluziile cu privire la performanțele micro-dispozitivelor termice depind de criteriile care sunt folosite pentru evaluare. Dacă analiza este efectuată pentru un număr *Reynolds* constant, caracteristicile termice exprimate în termeni de temperatură maximă a suprafeței de contact sunt mai bune prin folosirea nanofluidului. În acest caz, trebuie luată în considerare relația pentru numărul *Reynolds*. Pentru o vâscozitate mai mare, viteza fluidului trebuie să fie mai mare, pentru a păstra numărul *Reynolds* constant. Așadar, trebuie determinat dacă îmbunătățirea este bazată pe o conductivitate termică mai mare sau pe o viteză mai crescută a fluidului. Dacă analiza se bazează pe un debit masic constant sau pe o putere de pompare constantă, rezultatele prezentate în termeni de temperatură maximă a substratului sunt foarte apropiate, între ele.

În cazul în care diferența de temperatură a suprafeței de contact este impusă ca și constrângere, folosirea nanofluidului nu are un impact substanțial asupra performanțelor termice. Scăderea maximă este de aproximativ  $\Delta T = 0.7$  K pentru nanofluidul cu  $d_p = 13$  nm și  $\phi = 3\%$ , doar în cazul debitelor mai mici. De asemenea, există un diametru al particulelor care minimizează temperatura maximă în cazul unei puteri de pompare constante. Această observație reprezintă un rezultat al variației vâscozității nanofluidului cu diametrul particulelor și o concentrație volumică fixă.

În capitolul 6 s-a analizat influența conductivității termice ale nanoparticulelor asupra performanțelor termice și fluidodinamice ale microdispozitivelor termice. Rezultatele simulărilor numerice au fost prezentate sub forma de coeficient de convecție respectiv temperatura maximă a substratului în funcție de criteriul *Reynolds* respectiv puterea de pompare.

Concluzia comună pentru toate cazurile analizate este că performanțele termice depind atât de conductivitatea termică a nanoparticulelor cât și de diametrul respectiv participarea volumică a nanoparticulelor. De exemplu în cazul în care diametrul particulelor este de  $d_p = 13$  nm, apa are cel mai bun coeficient de convecție mediu comparativ cu nanofluidele  $Al_2O_3$ -apă și  $TiO_2$  – apă.

Totodată, coeficientul de convecție pentru nanofluidul Cu – apă are valori mai mari decât valoarea obținută pentru apă. Pentru diametre mai mari ale nanoparticulelor  $d_p = 36$  nm, toate cele trei tipuri de nanofluide considerate au valori mai mari ale coeficientului de convecție comparativ cu apa. Trebuie menționat că în acest caz analiza performanțelor termice a fost realizată în raport cu puterea de pompare. De asemenea și temperatura maximă a substratului este mai mică în cazul folosirii nanofluidului Cu-apă.

### Bibliografie

1. International Technology Roadmap for Semiconductors, 2011 Edition – System drivers.
2. Choi SUS. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in Developments and Applications of Non-Newtonian Flows. ASME FED 231/MD 66 (1995) 99–103.
3. D. Lelea, I. Laza, The water based  $Al_2O_3$  nanofluid flow and heat transfer in tangential microtube heat sink with multiple inlets, International Journal of Heat and Mass Transfer 69 (2014) 264–275.
4. D. Lelea, I. Laza, The particle thermal conductivity influence of nanofluids on thermal performance of the microtubes, International Communications in Heat and Mass Transfer 59 (2014) 61-67.