

Raport stiintific

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie – decembrie 2012

Activitatea 1.2. Realizarea de modelari numerice a curgerii fluidului pentru diferite valori ale campului magnetic si electric pentru configuratia cu 2 electrozi.

Modelul numeric dezvoltat in Activitatea 1.1 a fost folosit pentru a studia curgerea topiturii pentru diferite valori ale campurilor aplicate, in cazul configuratiei cu doi electrozi dispusi simetric (fig.1.).

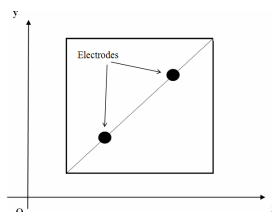
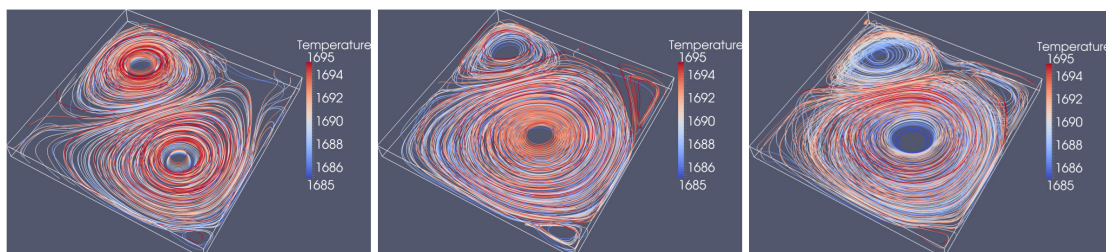


Figura1. Dispunerea electrozilor in sectiune orizontala.

Cel mai semnificativ rezultat obtinut arata ca intensitatea curentului electric este un parametru de luat in considerare pentru controlul structurii de convecție. Astfel, se observa ca, marind intensitatea curentului electric, structura curgerii se schimba din doua celule de convecție aproximativ simetrice, intr-o structura in care una dintre celule este mai importanta.



(a) $I=2A$

(b) $I=5A$

(c) $I=10A$

Figura 2. Influenta intensitatii curentului electric asupra convecției topiturii

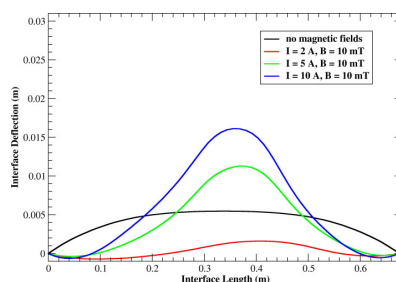


Figura 3. Influenta intensitatii curentului electric asupra formei interfetei de cristalizare. Deasemenea, se observa ca acest mod de curgere a topiturii va duce la o estompare a schimbului de caldura cu partea calda (zona superioara) astfel ca deflexia interfetei de solidificare va creste. Acest comportament este clar evidentiat in figura3.

2.2 PROIECTAREA ȘI REALIZAREA CREUZETULUI, A SISTEMULUI DE ELECTROZI ȘI A SURSEI DE ALIMENTARE

CREUZET. Este realizat din plexiglas. Are forma unui cub cu latura de 70 mm astfel încât să ocupe volumul cu câmp magnetic constant din întrefierul electromagnetului. Forma cubică emulează forma creuzetelor industriale de obținere a siliciului multicristalin prin solidificare direcțională. Pe unul dintre pereții laterali sunt fixate traductoarele velocimetrului. Contactul între traductoare și perete este realizat cu gel ultrasonic. În figura 4 sunt prezentate o schiță de execuție a creuzetului și o fotografie a acestuia umplut cu substanța de lucru (GaInSn). Schița din figura 4 reprezintă o configurație generic denumită de bază. Alte configurații vor fi realizate și testate în timpul derulării experimentelor.

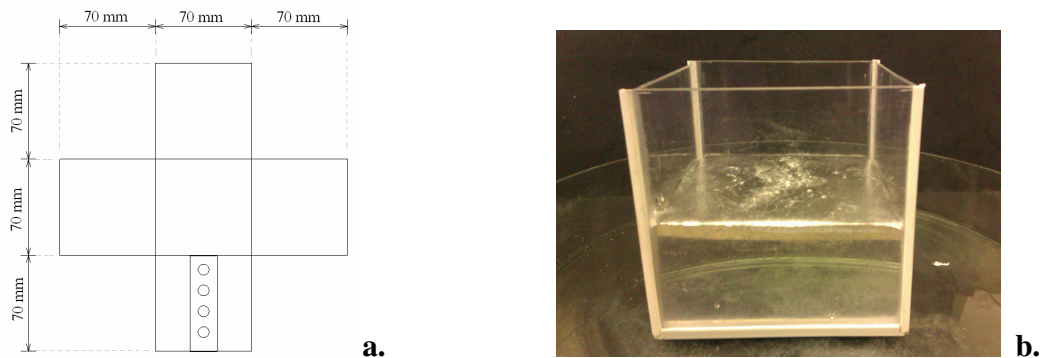


Figura 4. (a) Schiță desfășurată a creuzetului; (b) Fotografie a creuzetului umplut cu aliajul eutectic $\text{Ga}_{0.685}\text{In}_{0.215}\text{Sn}_{0.1}$.

SUBSTANȚA. Au fost achiziționate două kilograme (310 cm^3) de aliaj semiconductor $\text{Ga}_{0.685}\text{In}_{0.215}\text{Sn}_{0.1}$. Acesta este un aliaj eutectic cu temperatura de solidificare, $T_s = 10.5^\circ\text{C}$. Proprietățile fizice apropiate de cele ale siliciului topit permit realizarea experimentelor la temperatură ambiantă. Fotografia 4b prezintă creuzetul umplut cu substanță.

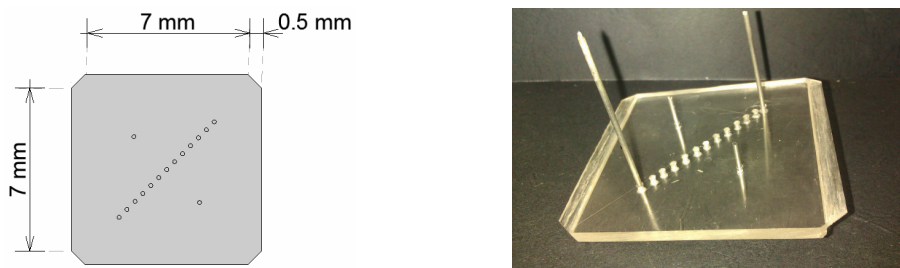


Figura 5. (a) Schiță a capacului electrozi; (b) Fotografie a capacului în care se văd doi electrozi

ELECTROZII. Pentru asigurarea unui câmp electric în substanță creuzetul este prevăzut cu un capac, proiectat astfel încât să permită introducerea în aliaj a doi sau mai mulți electrozi în diferite configurații. Întrucât $\text{Ga}_{0.685}\text{In}_{0.215}\text{Sn}_{0.1}$ este o substanță corozivă electrozii au fost realizați din oțel inoxidabil. În figura 5 sunt prezentate schița capacului și o fotografie a acestuia.

ALIMENTARE. Alimentarea electrozilor este realizată de la o sursă de tensiune continuă LAB-EC3010, reglabilă în domeniul 0-30V și care admite un current maxim de 10A.

2.3 Achiziția unui Velocimetru Doppler cu ultrasunete (UDV). Montarea senzorilor UDV pe peretele exterior al creuzetului. Teste pentru măsurarea vitezelor de curgere.

Velocimetrul cu ultrasunete Doppler DOP3010 (*Fig. 6*) a fost achiziționat pentru măsurarea vitezelor de curgere a unor lichide conductoare, cum este topitura semiconductoare opacă de GaInSn, folosită în experimentul nostru. În ultimele decenii tehnica velocimetriei Doppler cu ultrasunete (denumită în continuare UDV) a devenit o metodă acceptată pentru investigarea curgerilor în diferite topituri metalice opace. Metoda UDV este bazată pe tehnica puls-ecou și permite vizualizarea profilelor de viteză instantanee de-a lungul direcției de propagare a undei ultrasonice. Ea utilizează ecografia cu ultrasunete pulsate pentru a măsura profilul de viteză în interiorul lichidelor aflate în curgere.

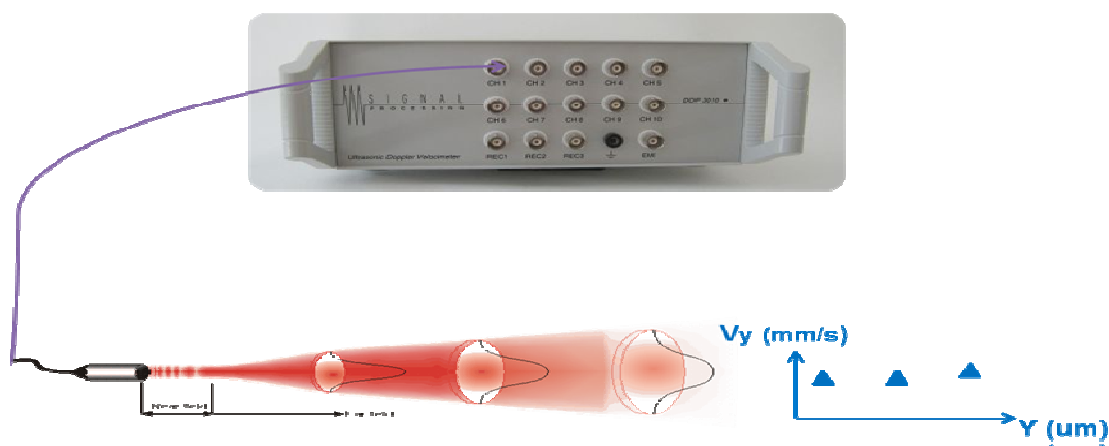


Figura 6. Volumele de măsură a proiecției vitezei de-a lungul pulsului de ultrasunete emis de către transducer

Velocimetrul calculează și afișează în timp real profilul de date bazat pe analiza unui număr specificat de utilizator de volume (discuri) de măsură plasate concentric de-a lungul undei ultrasonice emise și recepționate de către un transducer (*Figura 6, jos*).

Prin folosirea mai multor canale (transducere), velocimetrul oferă informații în spațiu asupra câmpului de viteze. Timpul de măsură este de câteva milisecunde, secvențial pentru mai multe canale (transducere). Velocimetrul dispune de un soft propriu. Transferul datelor achiziționate se face printr-o interfață USB.

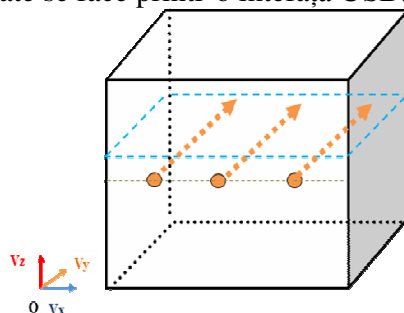


Figura 7. Schiță poziționare transducere pe creuzet

Senzorii UDV (transducerii) au fost poziționați perpendicular pe peretele exterior al creuzetului (ca în *Figura 7*) cu lichid conductor plasat în interiorului câmpului

electromagnetic. Aceștia (marcați prin cercuri portocalii) au fost puși în trei poziții (stanga, mijloc, dreapta) de-a lungul unei linii orizontale pentru măsurarea vitezei. Pentru primele teste, fluidul conductor folosit a fost o soluție electrolică de 10% NaOH dizolvat în apă distilată. Nivelul soluției în creuzet e marcat prin linia punctată albastră.

Transducerii, care sunt perpendiculare pe planul **XOZ**, măsoară componenta **V_y** a vitezei de curgere. Pătrățelele portocalii reprezintă volume (puncte) de măsură în care se determină valoarea lui **V_y**.

Primele rezultate

În *figura 8* sunt ilustrate fotografiile cu expunere lungă a structurii de curgere obținute prin plasarea creuzetului cu fluid conductor (soluție electrolică de 10% NaOH) în interiorul câmpului electromagnetic. În stânga și dreapta pe diagonală se observă cei doi electrozi poziționați simetric. Structura de curgere este vizibilă datorită particulelor trasoare (rumeguș de fag) care au fost introduse în lichid. Se observă două bucle mari de convecție ce se învârt în sensuri opuse în jurul celor 2 electrozi.

Pentru cele 3 poziții reprezentate în *Figura 7* (stanga, mijloc, dreapta) ale

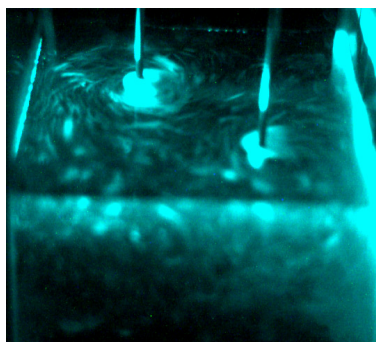


Figura 8. Structura de curgere observată experimental pentru o soluție electrolică 10% NaOH. transducerelor s-au înregistrat 3 profile ale vitezei de curgere de-a lungul direcției **O_y** (adâncime). Fiecare profil este alcătuit din 343 puncte (volume de măsură) la o rezoluție de 0.18 mm, corespunzând unei distanțe de măsură (adâncimi) de 45 mm. Pentru interpretarea profilelor s-a desenat schematic structura de curgere (*Figura 9, dreapta*)

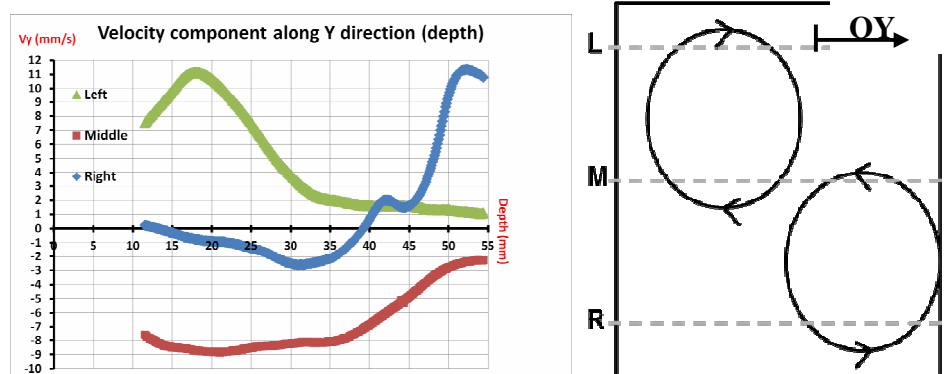


Figura 9. Profilul vitezei de-a lungul direcției **OY** pentru cele 3 poziții din Fig.7 (stanga, mijloc, dreapta) ale transducerelor (*stanga figurii*) prin comparație cu structura de curgere (*dreapta figurii*)

Vitezele maxime înregistrate sunt în jur de 10 mm/s, existând și zone moarte (neamestecate) unde vitezele tind spre zero, ceea ce corespunde observațiilor vizuale (fapt vizibil și în *Figura 8*). Pentru profilul din stânga (reprezentat cu verde în Fig.9) se observă cum inițial vitezele particulelor de-a lungul direcției Oy sunt mari, iar apoi scad către zero. Acesta corespunde existenței unei bucle de convecție în jurul electrodului mai apropiat de transducer, care cauzează o curgere puternică pe direcția Oy aproape de transducer. Valorile pozitive corespund faptului că sensul curgerii este acela dinspre transducer (sensul Oy).

Pentru profilul din dreapta (reprezentat cu albastru) se observă cum inițial vitezele particulelor de-a lungul direcției Oy sunt inițial mici, ating valori negative (adică curgere este influențată de zona din mijloc, care are sens opus) la mijloc, iar apoi în final iau valori mari pozitive, corespunzătoare existenței unei bucle de convecție cu sensul dinspre transducer în jurul electrodului mai îndepărtat de transducer.

În cazul profilului din mijloc (reprezentat cu roșu) se observă valori negative (mari în modul) corespunzătoare curgerii înspre transducer, datorate ambelor bucle de convecție. Faptul că vitezele sunt mai mari pentru bucla mai apropiată poate fi explicat prin faptul că particulele care intră în și sunt accelerate de bucla de convecție din față au deja o viteză, deoarece au fost antrenate în mișcare de bucla din spate.

În concluzie, profilele variației proiecției vitezei în adâncime (axa Oy) corespund foarte bine cu structura observată a buclelor de convecție, ceea ce demonstrează buna funcționare calitativă și semicantitativă a metodei UDV de măsură.

Diseminare:

Articole:

1. Novel method for melt flow control in unidirectional solidification of multi-crystalline silicon, D.Vizman, C. Tanasie, J. Crystal Growth, first revision

Participari conferinte:

1. Novel method for melt flow control in unidirectional solidification of multi-crystalline silicon. D. Vizman, C.Tanasie, R. Negrila, 4th European Conference on Crystal Growth, Glasgow, 2012, poster
2. A new type of electromagnetic stirring in directional solidification of mc-Si, D. Vizman, C.Tanasie, R. Negrila, 6th International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells, Aix les Bains, Franta, 2012, poster
3. Numerical study of melt convection in directional solidification method of multicrystalline silicon, D. Vizman, A. Popescu, ROCAM 2012, Brasov, invited
4. Numerical Modelling and experiment of a melt in an electromagnetic field, R. Negrila, D. Vizman, ROCAM 2012, Brasov, invited
5. Numerical studies on a type of electromagnetical stirring in directional solidification method of multicrystalline silicon, D. Vizman, C. Tanasie, R. Negrila, 7th International Workshop on modeling in crystal growth, Taipei, 2012, oral
6. Melt stirring based on a combination of electrical current and magnetic field, R.Negrila, A. Popescu, M.Paulescu, D. Vizman, TIM12 conference, Timisoara 2012, oral

Altele:

1. Este în pregătire înregistrarea unui patent.

Director proiect,
Prof.dr. Daniel Vizman