

Finansējuma saņēmēja nosaukums
Latvijas Universitāte

Īstenotā projekta nosaukums

**„Būtiski nestacionāru matemātisko modeļu sistēmas attīstīšana
pusvadītāju monokristālu audzēšanas rūpnieciskajiem procesiem”**

Īstenotā projekta Nr.

2013/0051/2DP/2.1.1.1.0/13/APIA/VIAA/009

Projekta LU reģistrācijas Nr.

ESS2013/146

Projekta zinātniskais vadītājs

Dr.-Phys., Jānis Virbulis

Atskaite par periodu 01.01.2015. – 30.04.2015.

Ceturtajā atskaites periodā tika pabeigta 2. aktivitātes realizācija, tika turpināts darbs pie 3. un 5. aktivitātes, kā arī uzsākta 4. aktivitāte.

Ceturtajā atskaites periodā tika pabeigta aktivitāte Nr.2 - „Skaitlisko algoritmu izveidošana un testēšana”. Jaunizveidotajiem un esošajiem FZ un CZ kristalizācijas procesu modeļiem vai to daļām tika izveidoti jauni skaitliskie algoritmi, vai uzlaboti esošie, ja atklājās, ka tas nepieciešams būtiski nestacionāru procesu gadījumā. Tika uzlaboti algoritmi fāzu lauka modelim, aizstājot galīgo diferencu skaitlisko shēmu ar galīgo tilpumu shēmu, lai mazinātu problēmas ar skaitliskajām nestabilitātēm, ko grūti atšķirt no reālām nestabilitātēm, kas ir šo pētījumu galvenais mērķis un objekts. Tikai veikti arī vairāki lielumu interpolācijas shēmu uzlabojumi. 3D termomehānisko spriegumu aprēķinā tika pētīta skaitlisko režģu ietekme uz rezultātu precizitāti dažādām kristāla virsmas konfigurācijām. Tika veidoti algoritmi datu pārnesei starp 2D un 3D modeļiem – aprēķinātās fāzu robežu formas no 2D uz 3D, un aprēķinātās siltuma plūsmas no 3D uz 2D. Izveidoti arī algoritmi informācijas savienošanai starp modeļiem un eksperimentu – induktora strāvas un jaudas sakarības, kā arī induktora sprieguma izvade.

Tika turpināta 3. aktivitātes „Modeļu verifikācija un aprēķinu efektivitātes optimizācija” realizēšana. Aktīva skaitlisko algoritmu un metožu veidošana, kas pabeigta šajā atskaites periodā, pavēra īpaši plašas iespējas strādāt arī pie metožu ātrdarbības palielināšanas. Arī rezultātu verifikācija ir katras skaitliskās metodes attīstībai sekojoša aktivitāte. Tika verificēta CZ modeļa atbilstība eksperimentos novērotajai sildītāja jaudas atkarībai no laika, kas ir ļoti būtiska veiksmīgai liela diametra kristālu audzēšanai. FZ procesam tika pārbaudīta sistēmas reakcija uz audzēšanas parametru lēcienveida izmaiņām un iegūta laba sakarība ar novēroto.

Eksperimentālie kristāla radiālās pretestības sadalījumi tika izmantoti 3D piemaisījumu transporta modeļa un skaitlisko metožu attīstībai un verifikācijai, tika plaši pētīta robežnosacījumu ietekme un piejaukumu pārnese gāzē ietekme uz sakritību ar eksperimentiem.

Ceturtajā aktivitātē tika veiktas aprēķinu studijas izmantojot jaunus modeļus. Anizotropi 3D termomehāniskie spriegumi tika pētīti $\langle 100 \rangle$ un $\langle 111 \rangle$ kristālrežģa orientācijām, tai skaitā pie atšķirīgām kristāla formām. CZ procesam tika pētīta īpaši nestacionārās aizmetņa un konusa fāze, kā arī pāreja starp tām un procesa cilindrisko kristāla fāzi. Ar lokālo fāzu lauka aprēķina programmu tika pētītas temperatūras un elektromagnētiskā lauka nevienmērību ietekme uz augšanas nestabilitātēm pie dažādiem procesa parametriem. FZ aprēķinos tika pētīti dažādi reflektoru garumi un aktīvas sildīšanas iespējas. FZ procesam tika veiktas studijas izmantojot jaunus uz modeļa bāzētos procesa kontroles algoritmus. Tika pētīta šo algoritmu darbība pie dažāda diametra kristāliem un ievērojot procesa parametru nolasīšanas neprecizitātes, aplūkotas dažādu kontroles parametru ietekmi un meklēti optimāli parametri.

Šajā atskaides periodā notika arī 5. aktivitātes realizācija – modeļu un algoritmu iestrādāšana programmatūrā jeb programmatūras elementu izveide FZ un CZ kristālu audzēšanas procesu aprēķinu programmām. Tika programmētas speciālas datu pārnese programmas.

4. atskaides periodā projekta rezultāti tika prezentēti starptautiskā nepārtrauktas vides fizikas simpozijā „Vide, elektromagnētiskās un MHD tehnoloģijas”, kas norisinājās LU 73. zinātniskās konferences ietvaros. Par jaunumiem attīstībā tika informēti esošie klienti, kā arī no klientiem tika iegūti jauni dati modeļu verifikācijai. Žurnāla Magnetohydrodynamics 2015 gada 1. numurā tika publicēti divi raksti, kā arī 1 raksts ir akceptēts publicēšanai.

Pārskata perioda laikā tika strādāts pie maģistra darba „Silīcija galīgās elektrovadītspējas ietekme uz kausējuma plūsmu un piemaisījumu transportu peldošās zonas kristālu audzēšanas procesā” (K. Surovovs) un doktora darba „Gāzes plūsmas ietekmes uz zonas formu un piemaisījumu pārnesei modelēšana peldošās zonas procesā” (A. Sabanskis).

Projekta zinātniskais vadītājs

Jānis Virbulis
Dr.phys., vad.pētnieks