

3D efektu pētījumi silīcija kristālu audzēšanai ar peldošās zonas metodi

Matīss Plāte, Armands Krauze, Andrejs Sabanskis

Latvijas Universitāte

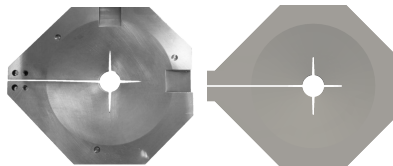
LU 72. zinātniskā konference
Rīga, 2014. gada 30. janvāris

Šis darbs izstrādāts Latvijas Universitātē ar Eiropas Reģionālās attīstības fonda atbalstu projektā Nr. 2013/0051/2DP/2.1.1.1.0/13/-APIA/VIAA/009.



Silīcija kristālu audzēšana ar peldošās zonas metodi

- Izejmateriāls ir augstas tīrības polikristāla stienis
- HF indukcijas spole



Reāls induktors

Induktora modelis

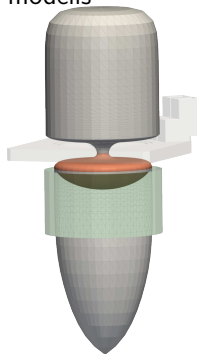
- Var iegūt liela diametra (...200 mm) monokristālus
- Apstrādātus kristālus izmanto jaudas elektronikā

Eksperimentālā
audzēšanas iekārta



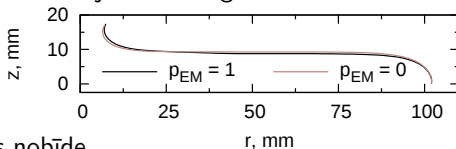
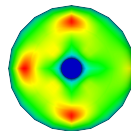
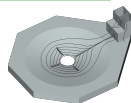
B. Andreas et al., *Metrologia*
48, S1-S13, 2011

Procesa 3D
modelis

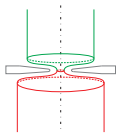


FZ procesa 3D raksturs

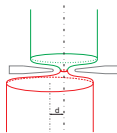
- Induktora forma rada nesimetrisku EM lauku
- Nesimetrisks inducētās jaudas blīvums uz kausējuma brīvās virsmas
- EM spiediena sadalījums atkarīgs no brīvās virsmas formas



- Kristāla ass nobīde



Bez nobīdes



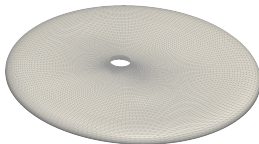
Ar nobīdi

HF EM lauks

- Induktora strāvas frekvence $f = 3 \text{ MHz}$
- Izteikts skinefekts, iespiešanās dziļums kausējumā $\approx 0.3 \text{ mm}$
- Pieņēmums par integrāliem virsmas siltuma avotiem
- Robeželementu metode
- Aksiāli simetriskais tuvinājums:
 - Aprēķinu laika ietaupījums
 - Induktora spraugas apraksta tuvināti
- Trīsdimensionāls risinājums:
 - Salīdzinoši laukietilpīgāks
 - Precīzāks procesa apraksts

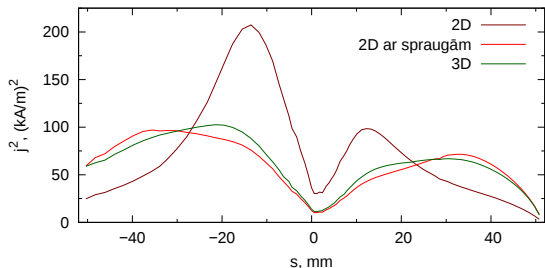
Brīvās virsmas 3D modelēšana

- Virsmas enerģijas komponentes
 - Hidrostatiskais spiediens
 - Virsmas spraigums
 - Manometriskais spiediens
- Papildus elektromagnētiskais spiediens $p_{EM} = \frac{1}{2}\mu_0 j^2$
- Virsmas diskretizēšana lineāros trijstūra elementos
- Iteratīva spēku līdzsvara atrašana
- Manometrisko spiedienu atrod pēc uzdota vidējā meniska leņķa

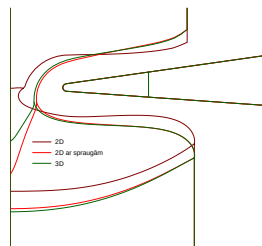


2D un 3D EM salīdzinājums

Inducētā lineārā strāvas blīvuma kvadrāta sadalījums uz kušanas frontes ($s < 0$) un brīvo virsmu ($s > 0$)

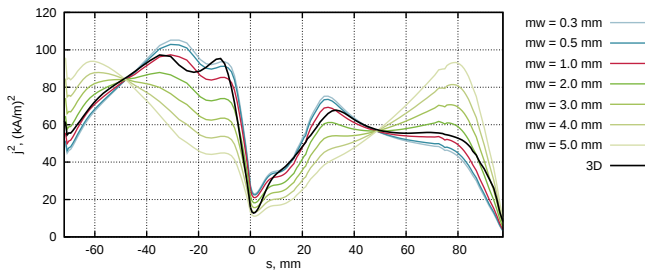


Fāzu robežas



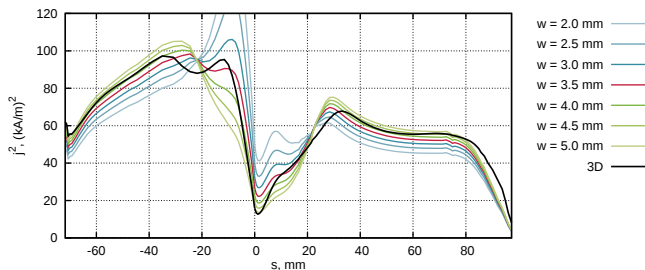
Induktora ģeometrisko parametru ietekme

j^2 sadalījums uz šķidrajām silīcija virsmām pie atšķirīga galvenās spraugas platuma.



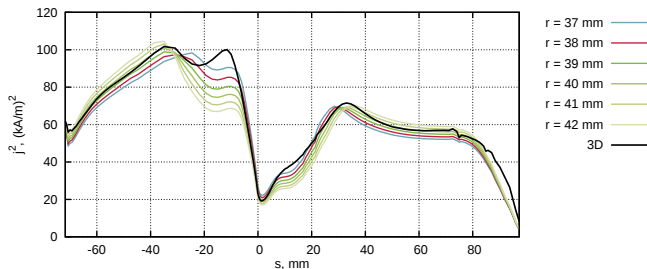
Induktora ģeometrisko parametru ietekme

j^2 sadalījums uz šķidrajām silīcija virsmām pie atšķirīga papildspraugu platuma.



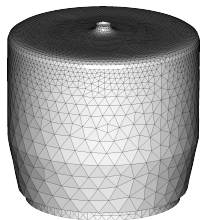
Induktora ģeometrisko parametru ietekme

j^2 sadalījums uz šķidrajām silīcija virsmām pie atšķirīga papildspraugu rādiusa.

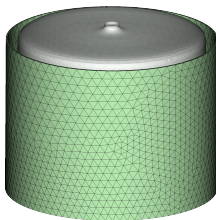


3D EM reflektora modelēšana

Galīgo elementu režģis

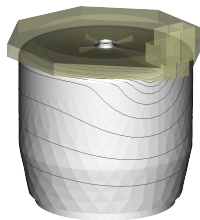


Bez reflektora

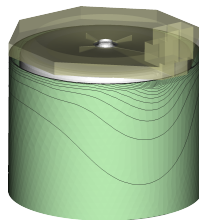


Ar reflektoru

Strāvas līnijas



Bez reflektora

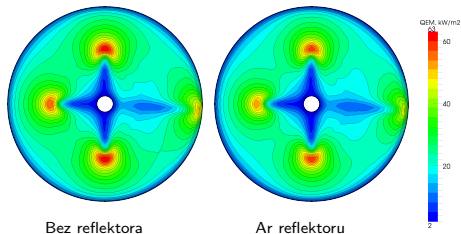


Ar reflektoru

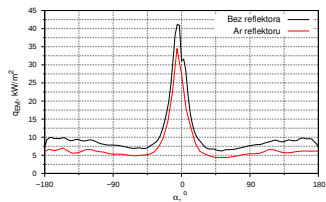
3D EM reflektora modelēšana

Inducētā jaudas blīvuma sadalījums:

Uz brīvās virsmas

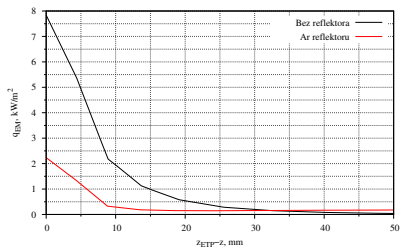
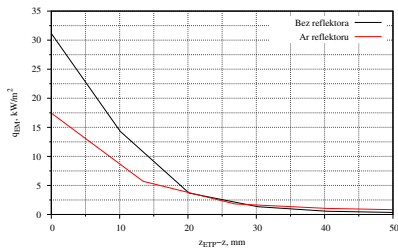


Pa ETP līniju



3D EM reflektora modelēšana

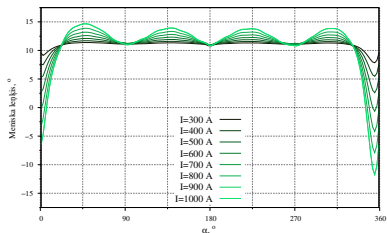
Inducētā jaudas blīvuma sadalījums uz kristāla virsmas:



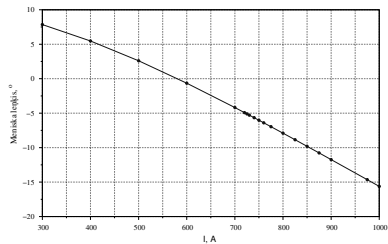
Brīvās virsmas modelēšanas rezultāti

Induktora strāvas ietekme uz meniska leņķi

Azimutālais sadalījums

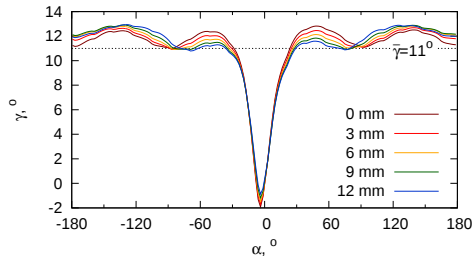


Zem induktora galvenās spraugas

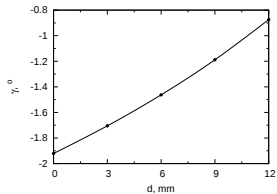


Kristāla ass nobīdes ietekme

Meniska leņķa azimutālais sadalījums
dažādām kristāla nobīdēm d

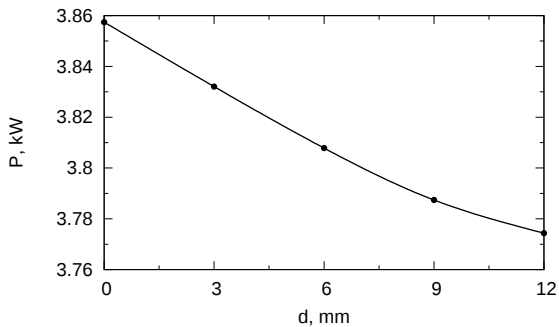


Zem induktora galvenās spraugas



Kristāla ass nobīdes ietekme

Integrālā kausējuma jauda atkarībā no kristāla nobīdes



Secinājumi

- 2D EM lauka risināšanas pieeja nav pietiekami precīza dotajai sistēmai
- Necaurlaidīga reflektora ietekme uz EM lauka sadalījumu FZ sistēmā ir vērā ņemama
- Meniska leņķis zem galvenās spraugas ir jutīgākais pret induktora strāvas izmaiņām
- Kristāla nobīde nedaudz samazina galvenās spraugas radīto ietekmi

Paldies par uzmanību!