PROGRAMME DE COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE
GRENSOVERSCHRIJDEND SAMENWERKINKSPROGRAMMA
Interreg
France-Wallonie-Vlaanderen
UNION EUROPÉENNE
EUROPESE UNIE

GoToS3
LUMINOPTEX
UCL Université catholique de Louvain
icteam Institute of Information and Communication Technologies, Electronics and Applied Mathematics

Tailoring zigzag and kinked silicon nanowires with metal assisted chemical etching

G. Sandu[1], J. I. Avila[1], D. Caina[1], Ph. Leclère[2] and S. Melinte[1]

[1]Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium
[2]University of Mons, Mons, Belgium

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

Outline

- Metal assisted chemical etching [MACE]
  - Description
  - 2D Model
- Kinked Si nanowires
  - Tailored structures
  - Model
- Conclusions

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID
Nord France Innovation Développement
MateriaNova
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

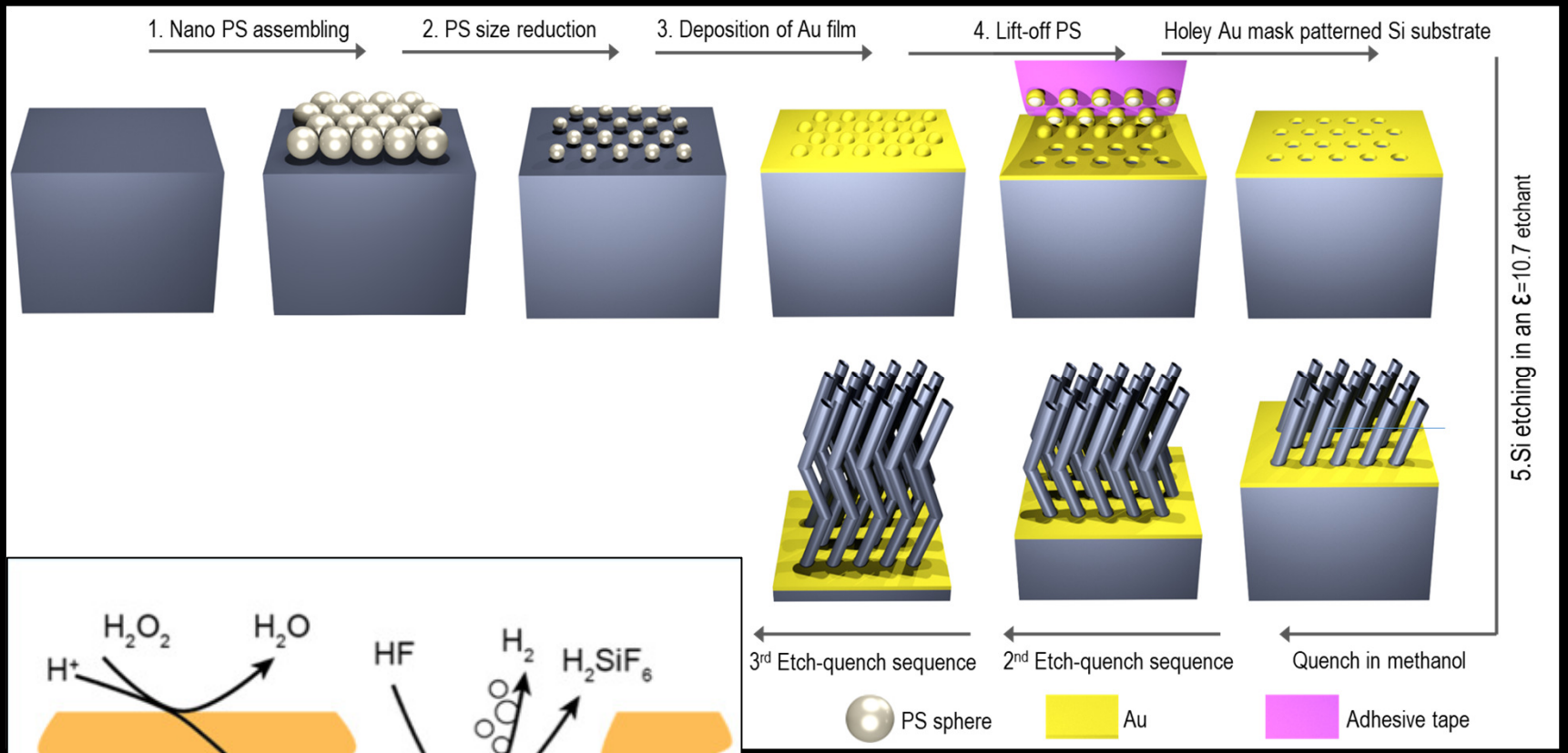


FIG. 2: Patterned MACE diagram

FIG. 1: Etching mechanism model diagram

ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 8875−8879

MACE. I

PROGRAMME DE COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE
GRENSOVERSCHRIJDEND SAMENWERKINKSPROGRAMMA
Interreg
France-Wallonie-Vlaanderen
UNION EUROPÉENNE
EUROPESE UNIE

GoToS3
LUMINOPTEX
UCL Université catholique de Louvain
icteam
Institute of Information and Communication Technologies, Electronics and Applied Mathematics

MACE. II

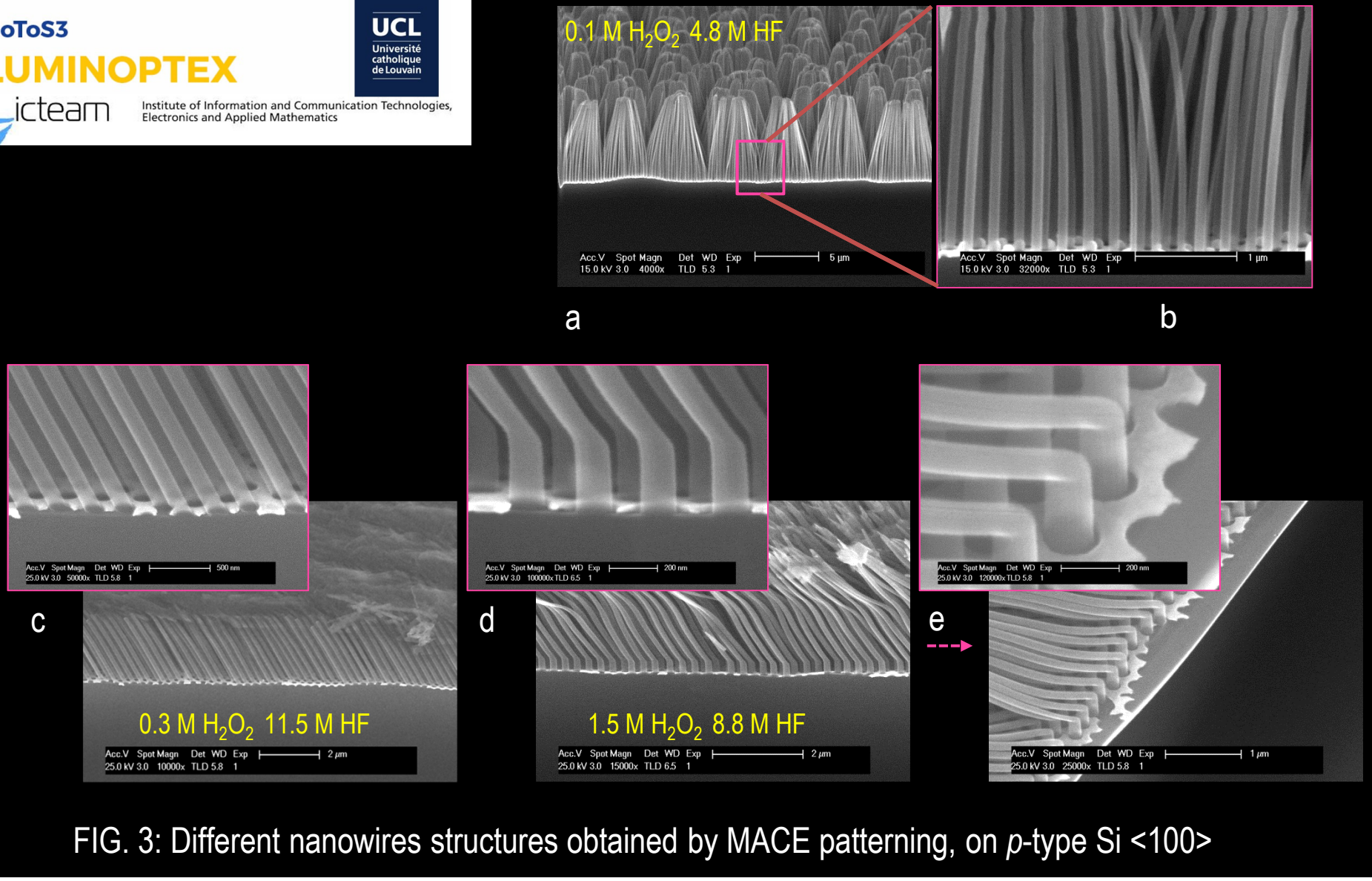
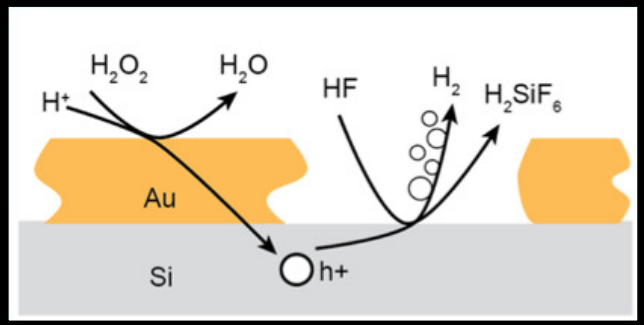


FIG. 3: Different nanowires structures obtained by MACE patterning, on *p*-type Si <100>

MACE. 2D model

PROGRAMME DE COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE
GRENSOVERSCHRIJDEND SAMENWERKINKSPROGRAMMA
Interreg
France-Wallonie-Vlaanderen
UNION EUROPÉENNE
EUROPESE UNIE
GoToS3
LUMINOPTEX
UCL Université catholique de Louvain
icteam
Institute of Information and Communication Technologies, Electronics and Applied Mathematics



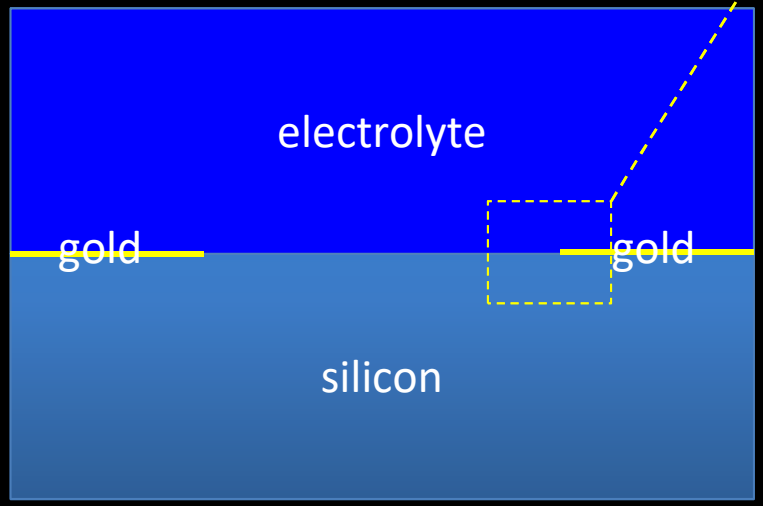
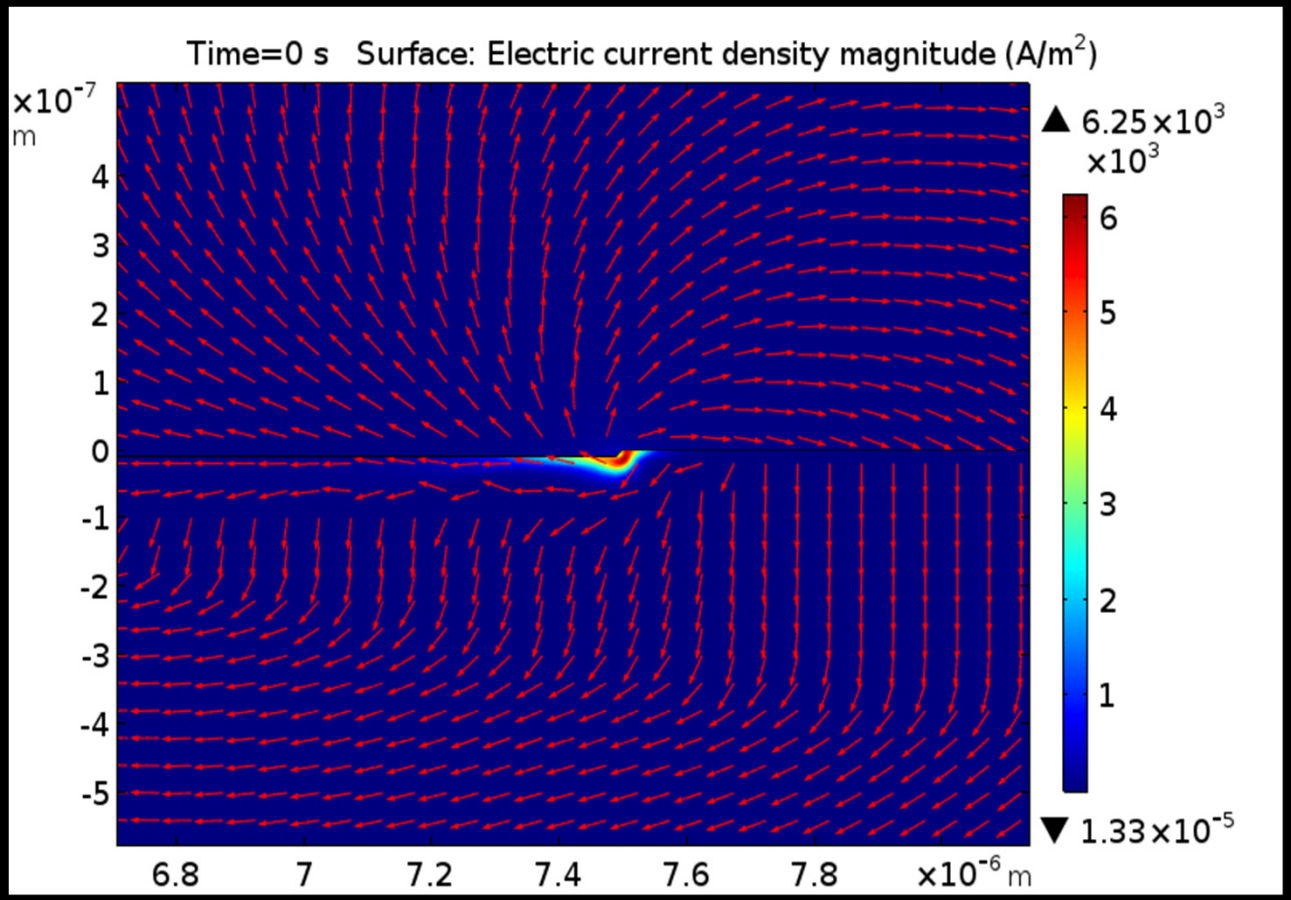


FIG. 4: 2D domain considered in calculation

- Silicon: drift diffusion of carriers.
- Schottky barriers at Au/Si and Si/electrolyte interfaces.
- Butler-Volmer relationships for Au/electrolyte and Si/electrolyte.
- Electrolyte: ohmic conductor.

- Etching rate is proportional to the electrical current between electrolyte and silicon.
- Gold is allowed to recede horizontally but keeps *z* value.



VIDEO. 1: Evolution of interfaces in MACE. Color scale shows electrical current density and arrows electrical current direction.

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID Nord France Innovation Développement
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen de gedreven provincie
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN
MateriaNova MATERIALS R&D CENTRE

Features of the 2D model

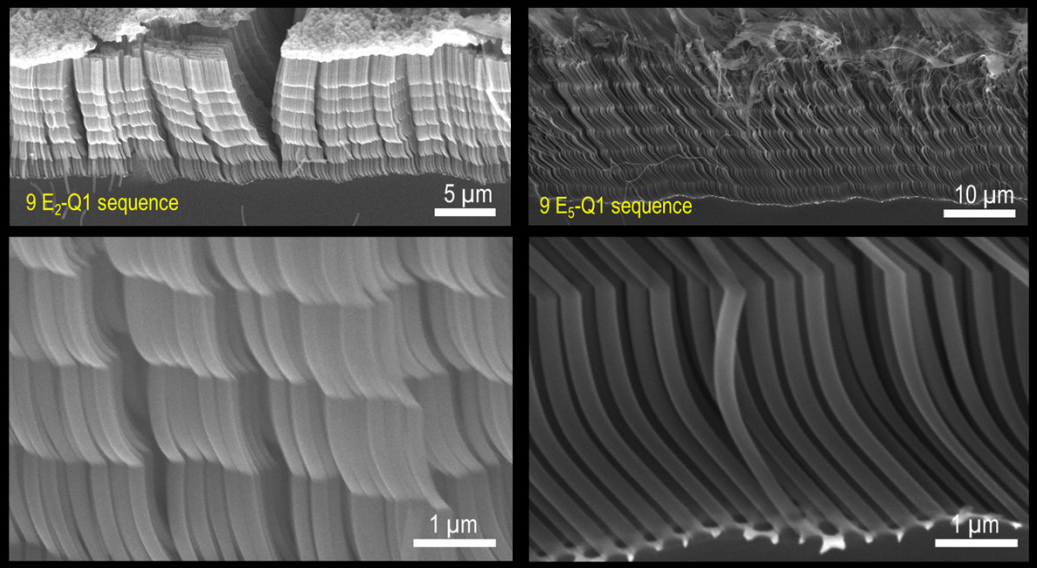
- Etching more pronounced near gold pattern
- Fast etching due to tight contact between gold and silicon
- Previous qualitative models put forward are consistent with the numerical calculation

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID
Nord France Innovation Développement
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen de gedreven provincie
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN
MateriaNova

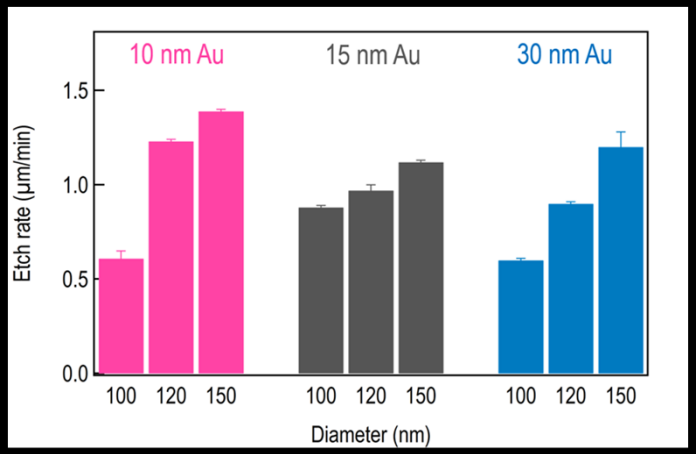
Kink formation model

- Kink formation requires placing the sample in a reaction quencher, such as methanol, and putting back the sample in reactant.
- The process is complex, involving fluid dynamics, chemical reactions and diffusion of species.
- Experimentally, a myriad of configurations can be obtained.

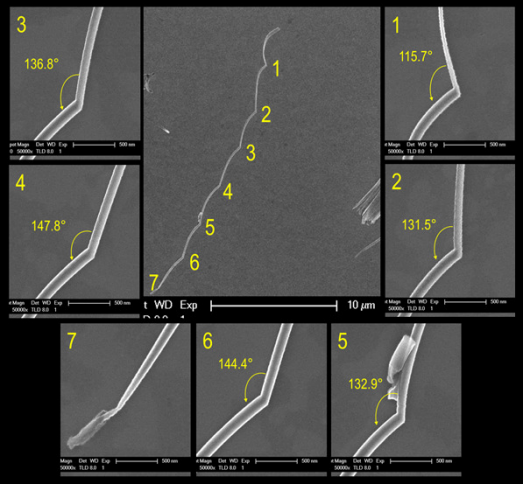
Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NF ID Nord France Innovation Développement
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen de gedreven provincie
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN
MateriaNova MATERIALS R&D CENTRE



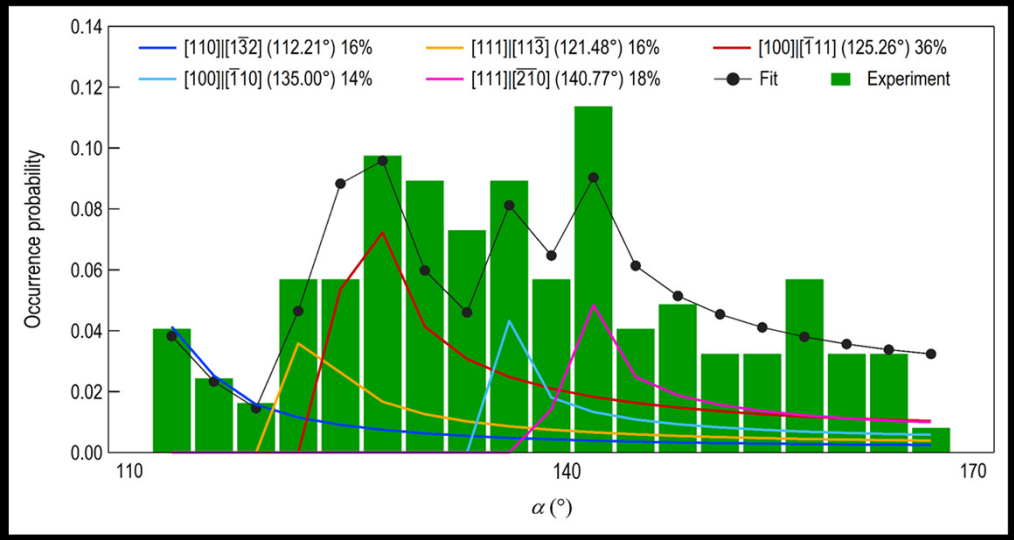
a



b



c



d

FIG. 5: a) Multiple kinks in nanowires, with segments length controlled by etching rate and time depending on gold mask thickness as characterized in b); c) kinked nanowire with different angles; d) populations of kink angles.

Which will be the preferential location for methanol nanodroplets near a tilted nanowire?

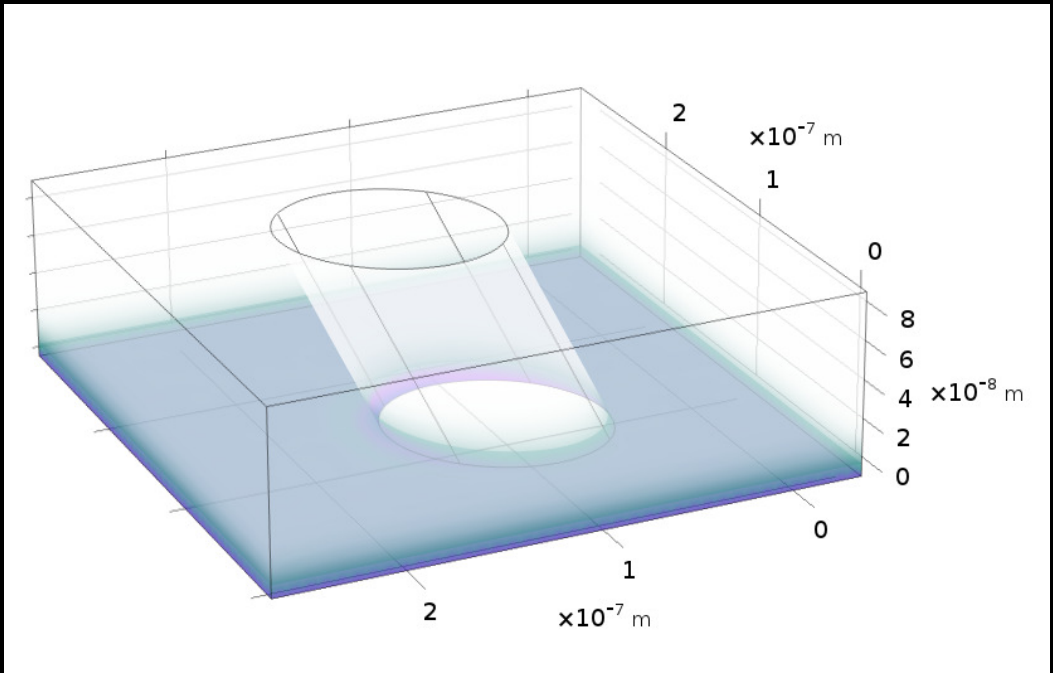


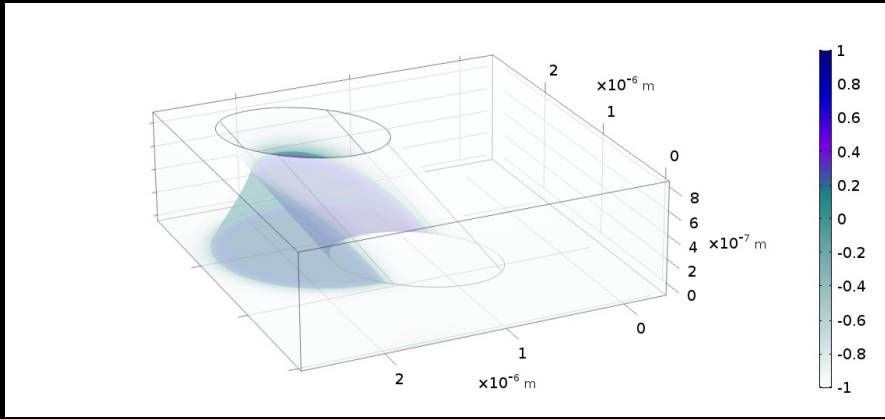
FIG. 7: 100 nm tilted Si nanowire with methanol pool

Phase field method

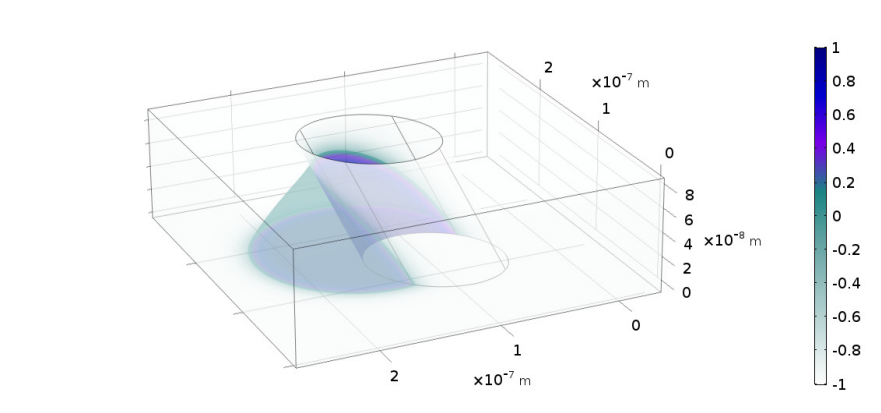
- Allows study of fluid interfaces considering surface tensions and contact angles in 3D
- Fluid flow neglected and periodic boundary conditions

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID Nord France Innovation Développement
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen de gedreven provincie
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN
MateriaNova

a



b



c

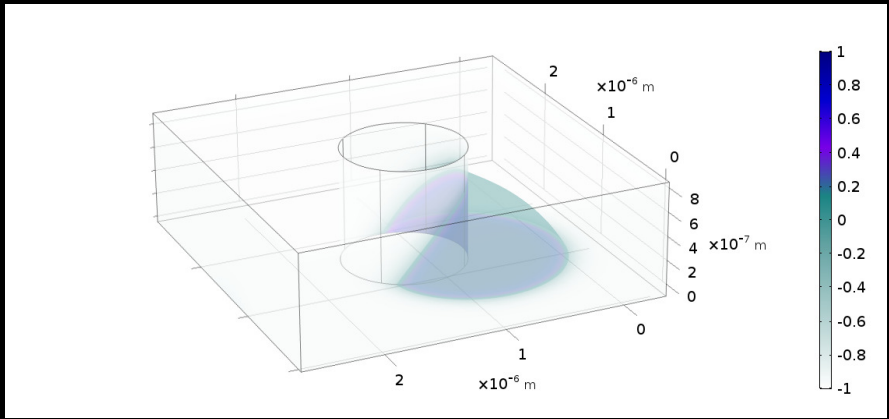


FIG. 8: 60° contact angle, 22.7 mN/m surface tension. a) 45° tilted nanowire, b) 60°, c) 90°. Color bars indicate phase field value.

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID
Nord France Innovation Développement
MateriaNova
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN

Features of the kink formation model

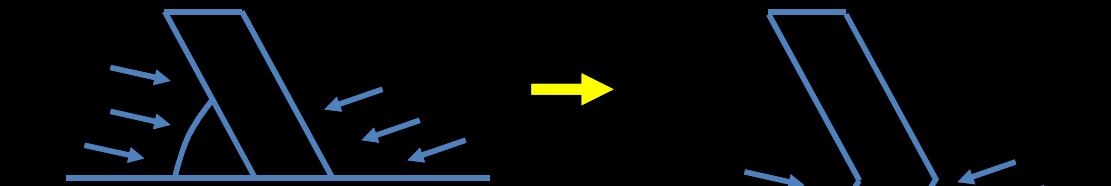
- Droplet accumulates always in the inner part of the nanowire/base architecture.
- Vertical nanowires produce random results due to symmetry.
- Similar results for 35°, 60°, and 90° contact angles.

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID
Nord France Innovation Développement
MateriaNova
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN

Kink formation in MACE

- Droplets of quencher will preferentially accumulate in the inner parts of the Si nanowire – substrate system.

- Upon continuation of MACE, there will be a change of direction, due to reduced concentration of the etchant in the region of accumulated quencher.



Nanowire + droplet + etchant

Kinked nanowire

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID Nord France Innovation Développement
MateriaNova
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen de gedreven provincie
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN

Conclusions

- A physical model including most relevant properties was developed for MACE of Au/Si, showing expected features.
- Droplet formation is studied for tilted Si nanowires, showing preferential sites.
- Droplet model is used to explain formation of kinked Si nanowires.

Interreg France-Wallonie-Vlaanderen
www.interreg-fwvl.eu
@InterregFWVL
Avec le soutien du Fonds européen de développement régional
Met steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling
UMONS Université de Mons
ensait Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles
CENTEXBEL
iemn
NFID
Nord France Innovation Développement
GoToS3
Wallonie
west-vlaanderen
AGENTSCHAP INNOVEREN & ONDERNEMEN
MateriaNova