



Podnikání ve fyzice aneb 3x si to rozmyslete

Petr Zikán, Adam Obrušník

PlasmaSolve s.r.o., Brno, Czechia

1. Něco málo o PlasmaSolve
2. Případová studie: magnetron
3. Několik postřehů z praxe, které nebudete brát vážně
4. Diskuze

PlasmaSolve

- Založeno v létě 2016 námi (PZ, AO, PJ)
- Hlavní myšlenka byla nabízet simulace plazmových procesů průmyslovým subjektům. To trvá.
- Pochopitelně jsme vůbec netušili jak na to, a začátky tak byly hodně krušné. To bohužel taky trvá.
- Zkoušeli jsme leccos: povlakování, termální nástřiky, plazmová svítidla, přenos tepla, komíny ...
- Postupem času se vynořily dvě zajímavé oblasti: **povlakování** a **iontové pohony**.
- V současnosti pracujeme především pro povlakovací průmysl (PVD, PECVD).
- Pomalu, ale jistě získáváme know-how o iontových pohonech – velmi zajímavá oblast (PJP H2020)

OSRAM

SOBRIETY

SHM

**Vapor
Tech.**

PLATITE[®]
Advanced Coating Systems
SWISS  QUALITY

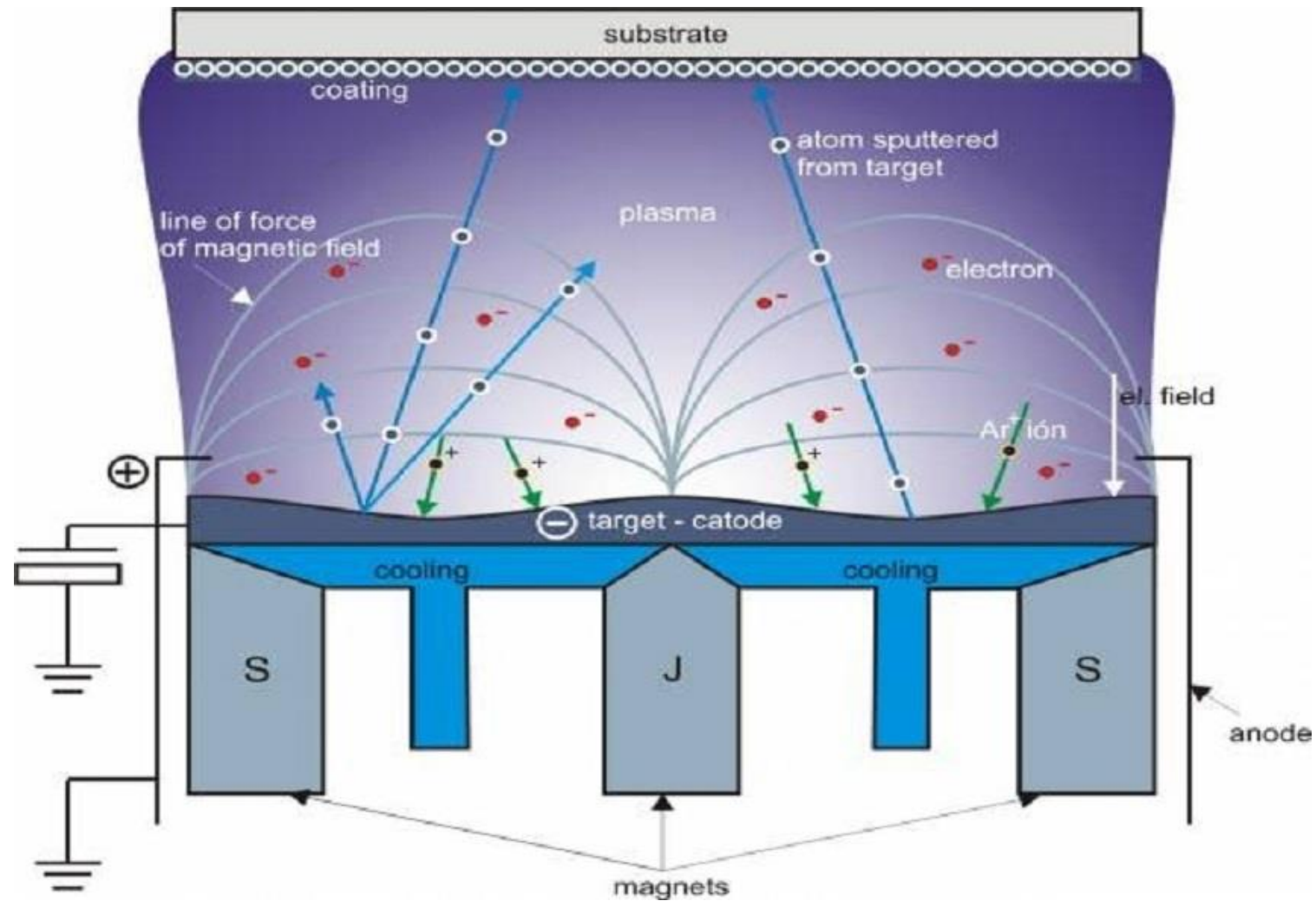
RHEINTECH
LABORATORIES, INC.

CEITEC
Central European Institute of Technology
BRNO | CZECH REPUBLIC

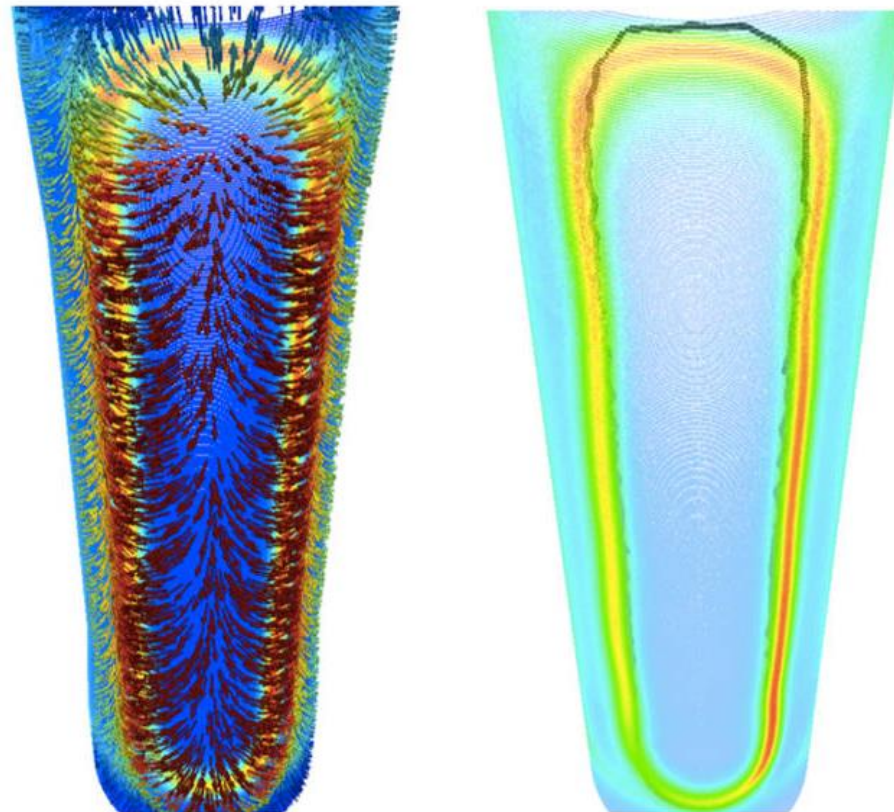
ACTIVAIR[®]
SMART VACUUM & AIR



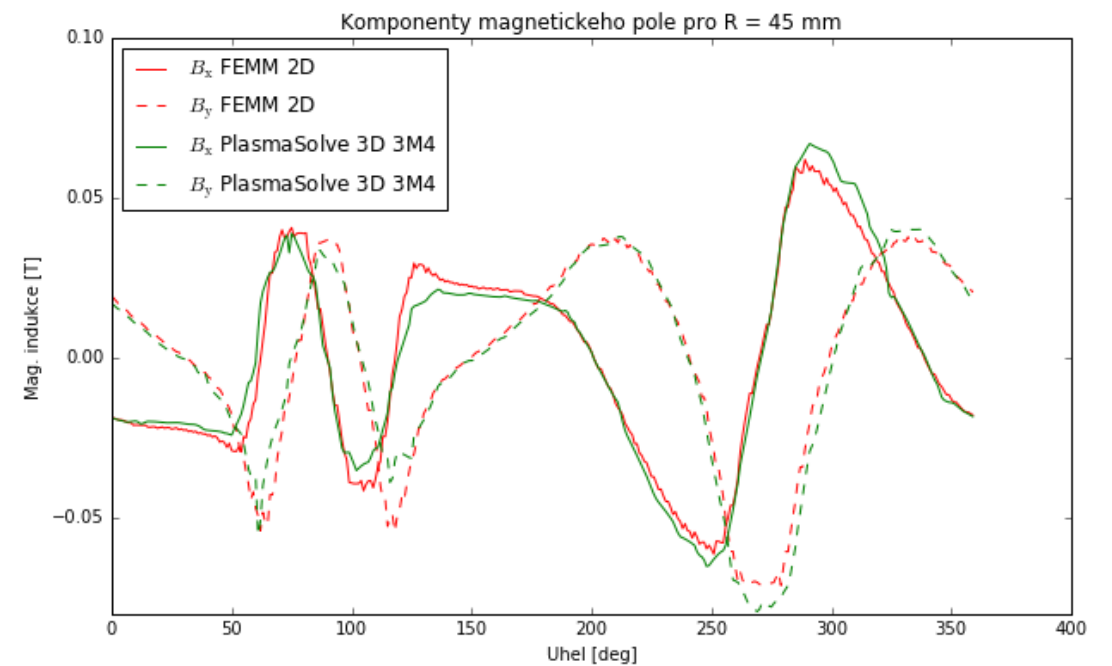
Magnetron



CAD to result – B field profile along target surface (or inside the cathode) given the configuration of coils or permanent magnets



Cross-validation with commercial software



Transversal models: Target erosion

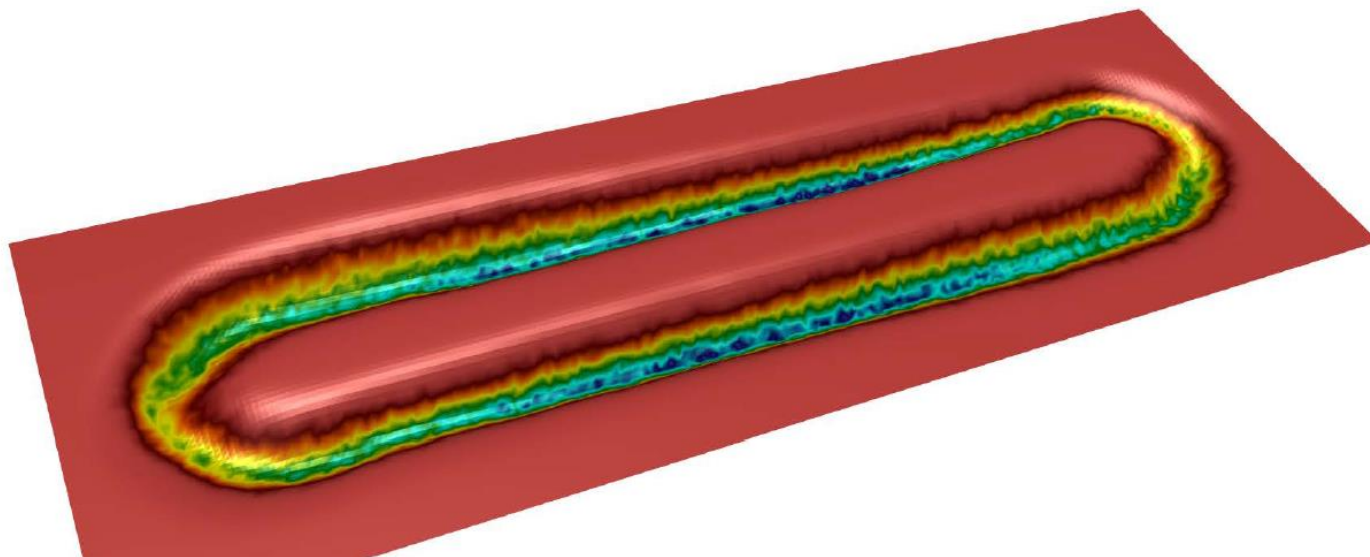
The problem

Optimize target utilization in magnetron sputtering

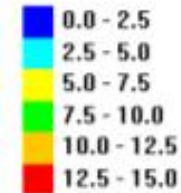
The tool

Full 3D calculation of magnetic field

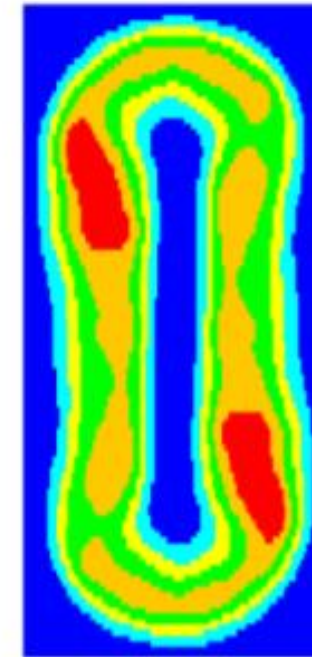
+ Monte-Carlo model of electron motion (test electron model)



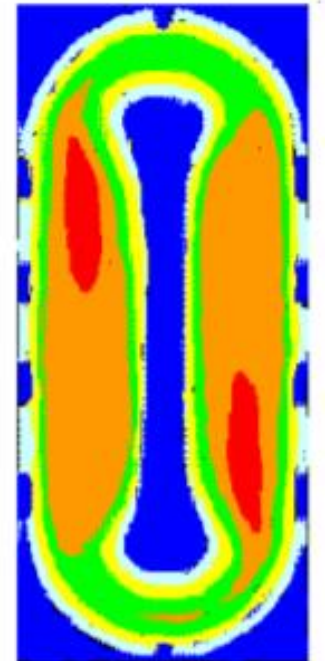
Erosion depth



Numeric



Experiment



Lopp, A. , Trube, J. , Geisler, M. , Ruske, M. and Claus, H. (2002),
P-29: Erosion Calculation for Sputtering Cathodes. SID Symposium
Digest of Technical Papers, 33: 309-311. doi:[10.1889/1.1830259](https://doi.org/10.1889/1.1830259)

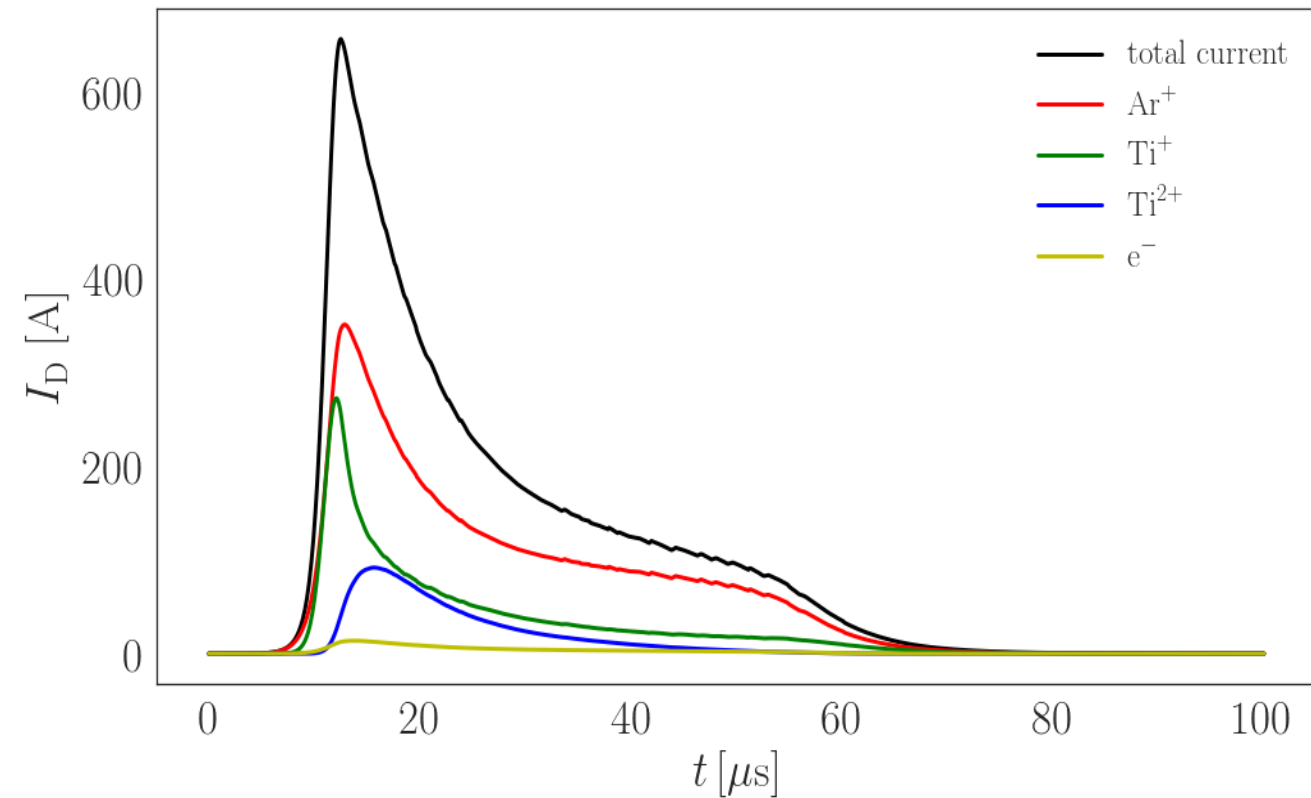
The problem

Composition of plasma in front of the target.

The tool

Global models that solve particle balance in the ionization region.

Current evolution during HiPIMS pulse

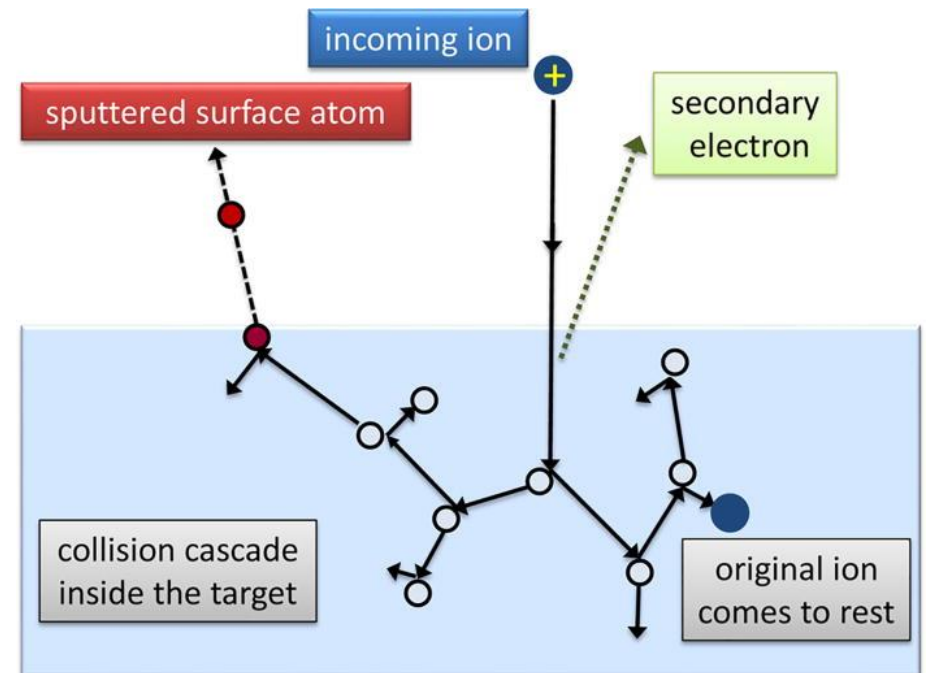


The problem

Determination of sputtering yield and angular distribution of sputtered particles.

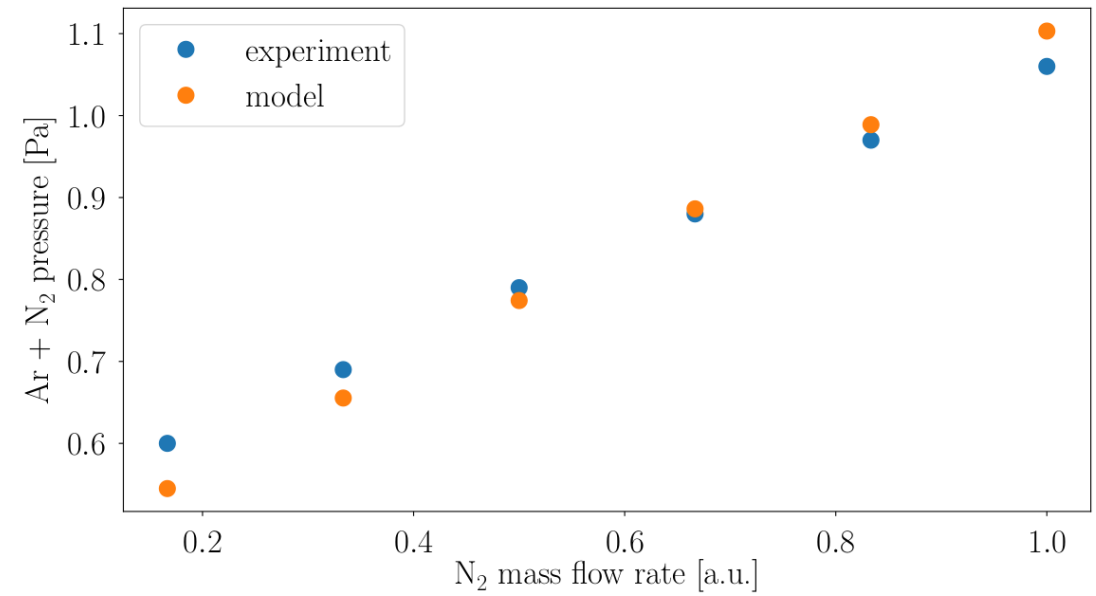
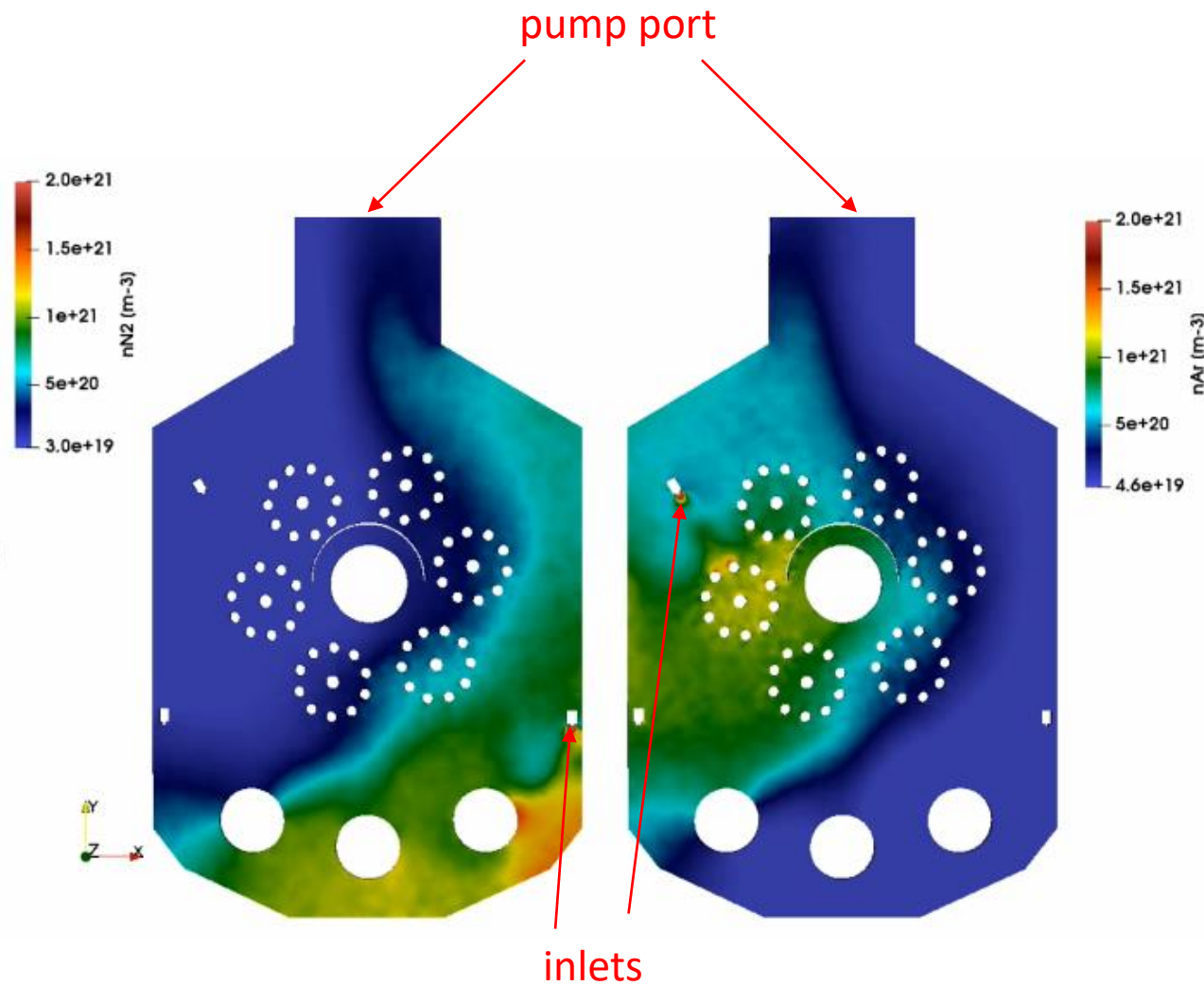
The tool

TRYDYN



Anders, André. "Tutorial: Reactive high power impulse magnetron sputtering (R-HiPIMS)." *Journal of Applied Physics* 121.17 (2017): 171101.

Transversal models: Rarefied gas flow

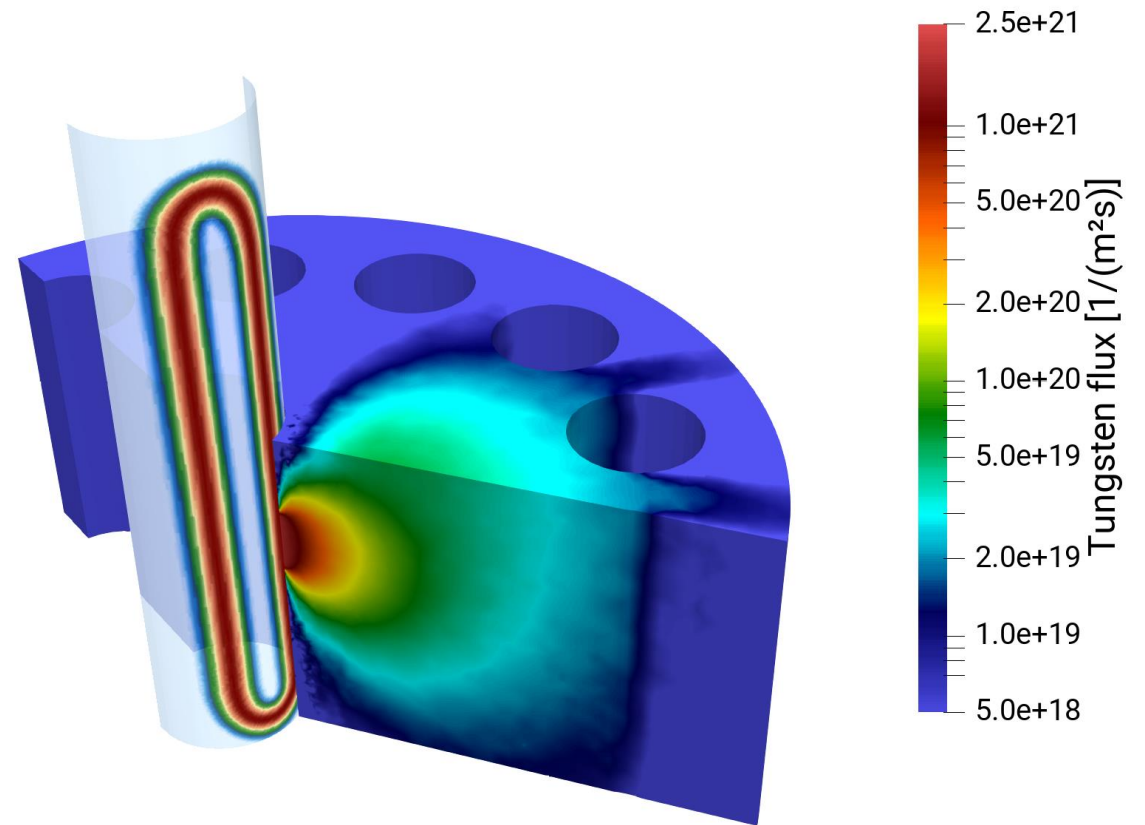


The problem

Sputtered particles transport to the substrates with collisions with background gas.

The tool

Direct Simulation Monte Carlo (DSMC) method.

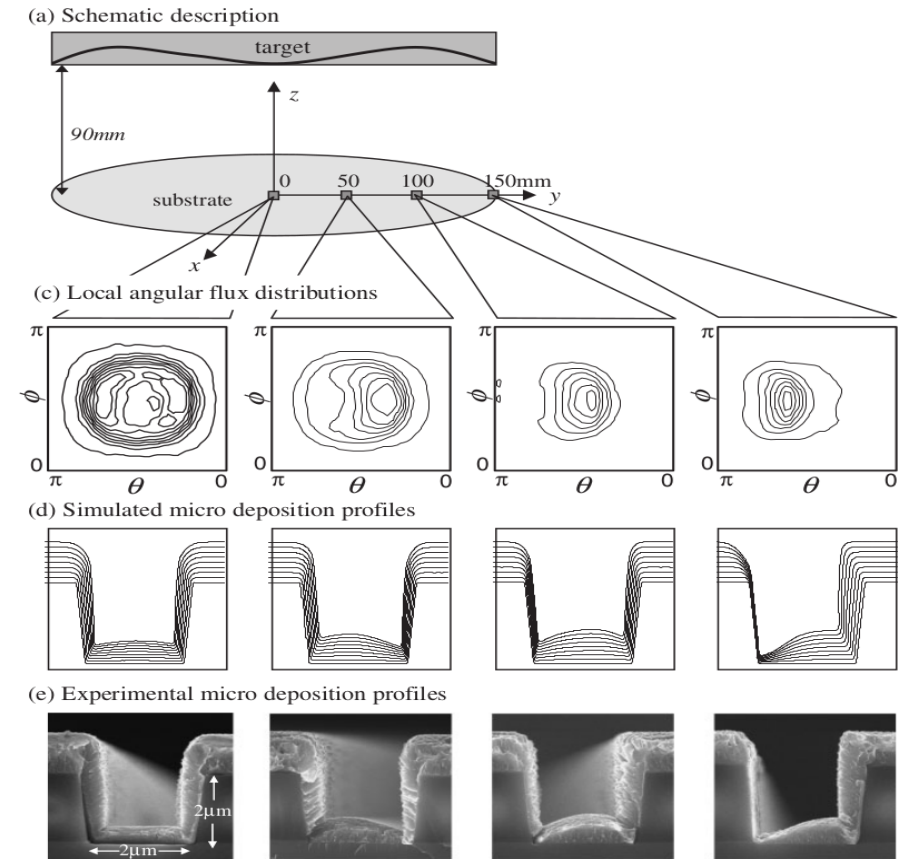


The problem

Film growth and flux distribution in micro-scale features.

The tool

Local refinement with boundary conditions from macro-scale simulation.



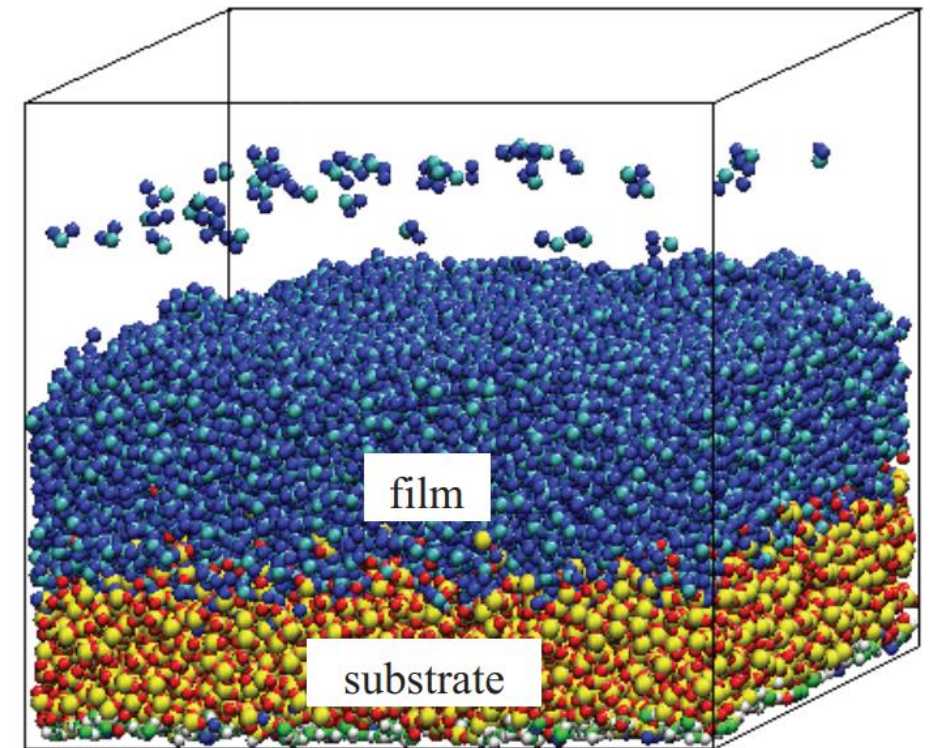
Kwon, Ui Hui, and Won Jong Lee. "Multiscale Monte Carlo simulation of circular DC magnetron sputtering: Influence of magnetron design on target erosion and film deposition." *Japanese journal of applied physics* 45.11R (2006): 8629.

The problem

Film growth and it's properties.

The tool

Correlation with experimental results, various numerical methods: molecular dynamics, kinetic Monte Carlo, density functional theory.



Kwon, Ui Hui, and Won Jong Lee. "Multiscale Monte Carlo simulation of circular DC magnetron sputtering: Influence of magnetron design on target erosion and film deposition." *Japanese journal of applied physics* 45.11R (2006): 8629.

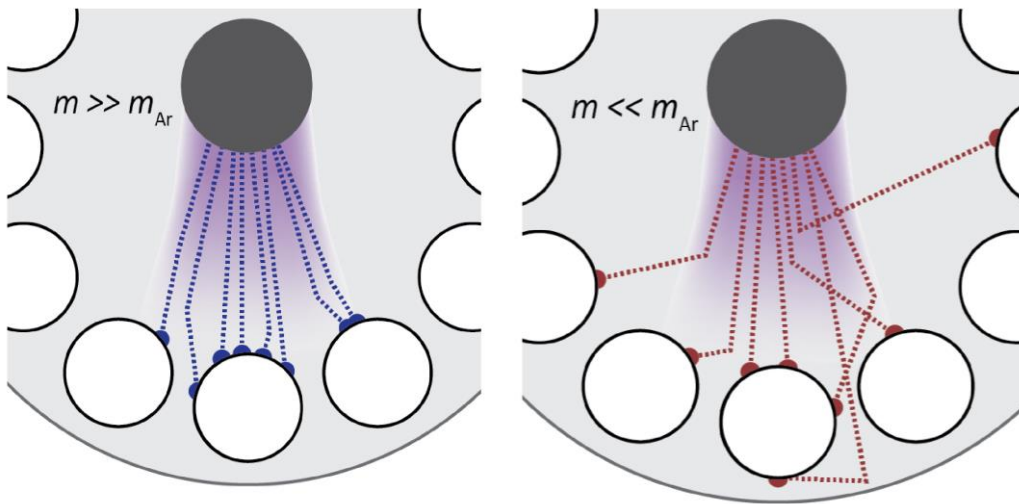
Případová studie:
magnetron se segmentovaným terčem

Case 2: Magnetron sputtering WBC

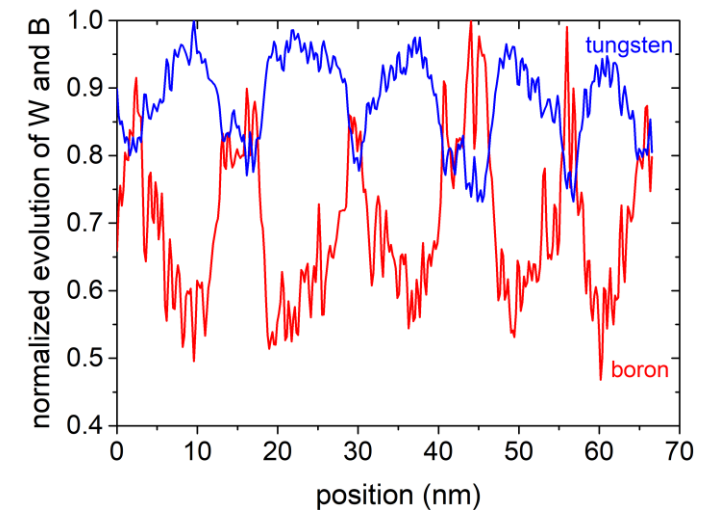
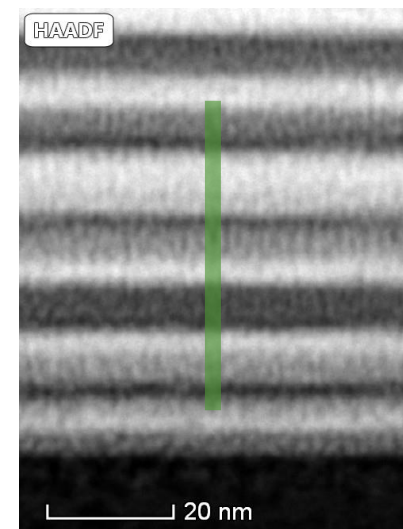
The problem

Light and heavy elements are transported differently in a typical sputtering chamber.

Sputtering from a **composite target** (e.g. SiC, WB, BC) or **segmented target** can lead to **multilayer structure** even with multi-axis rotation.

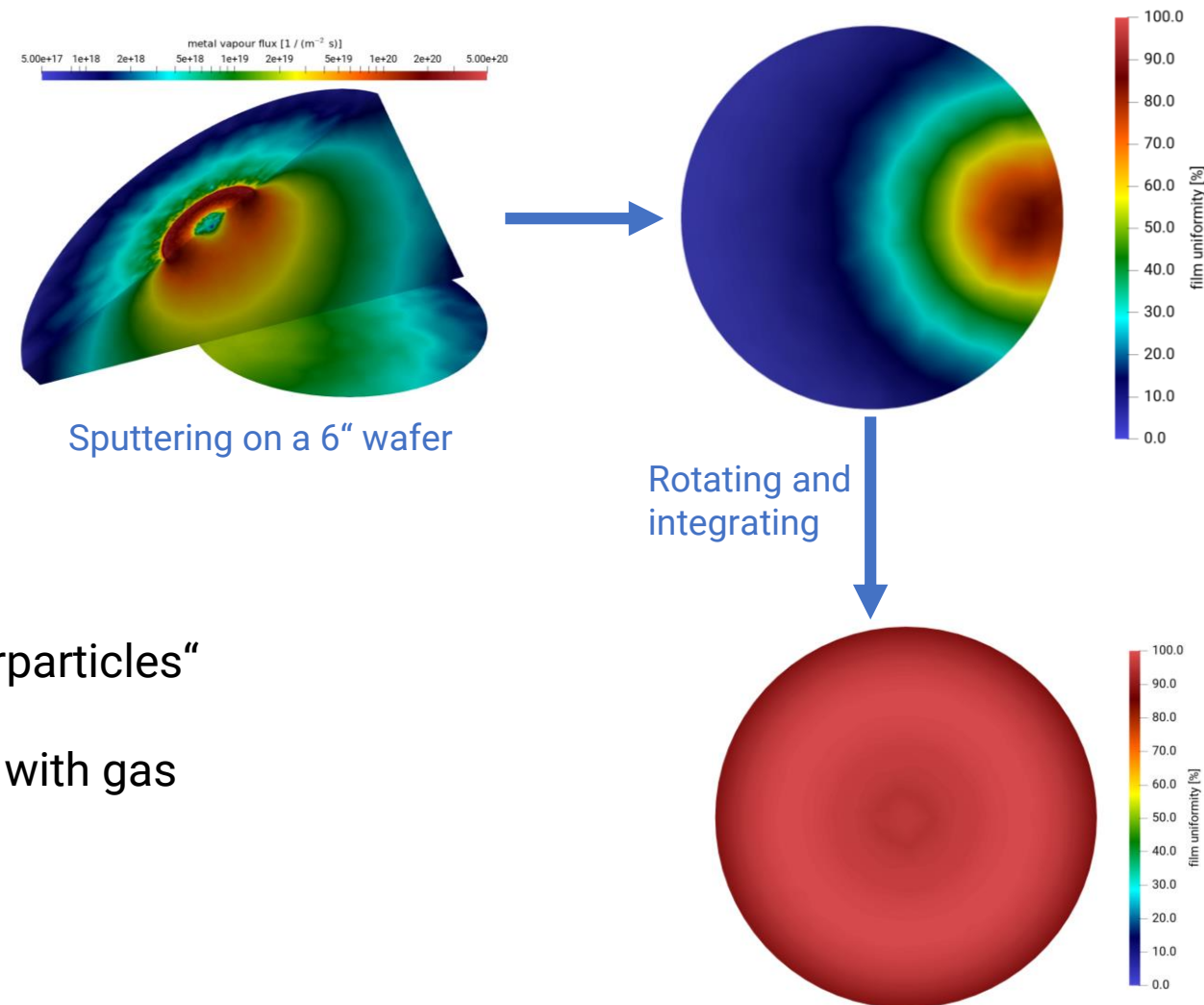


Images © Michael Kroker, MUNI



The tool

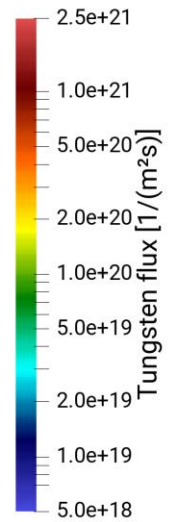
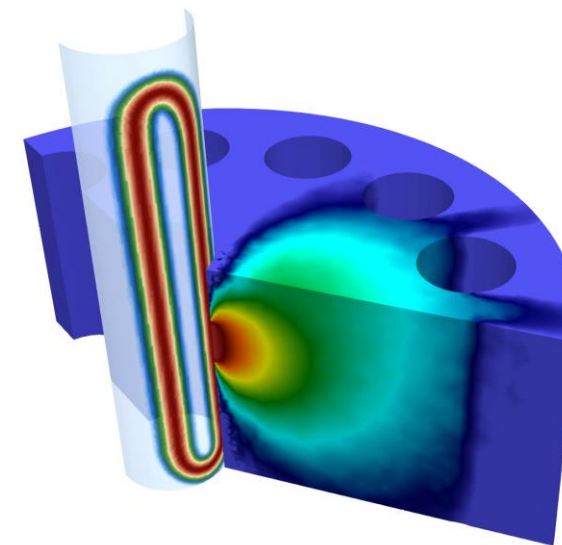
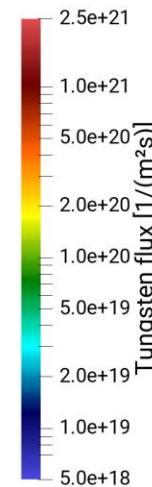
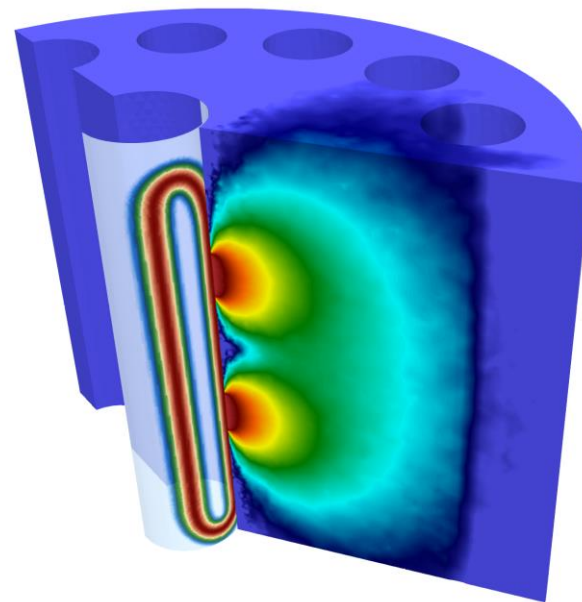
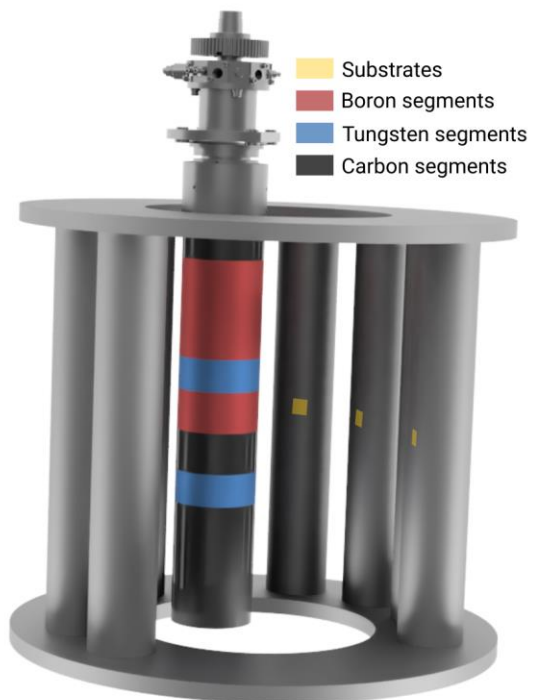
- DSMC simulation of vapour transport in a realistic chamber (Direct Simulation Monte Carlo)
- Built on top of dsmcFoamPlus solver, with custom programmed sputtering boundary conditions and collisional schemes
- Model calculates trajectories and collisions of „superparticles“
- Can be used for **reactive sputtering** as well (together with gas flow model)



Case 2: Magnetron sputtering WBC

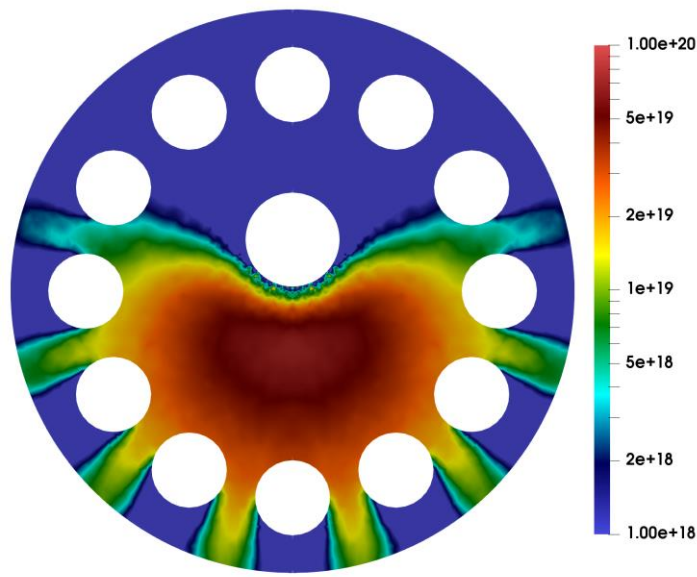
The benchmark

- Composite WBC coating grown from a segmented target, holder rotation switched off
- Hypothesis: tungsten moves more or less ballistically, boron and carbon get scattered

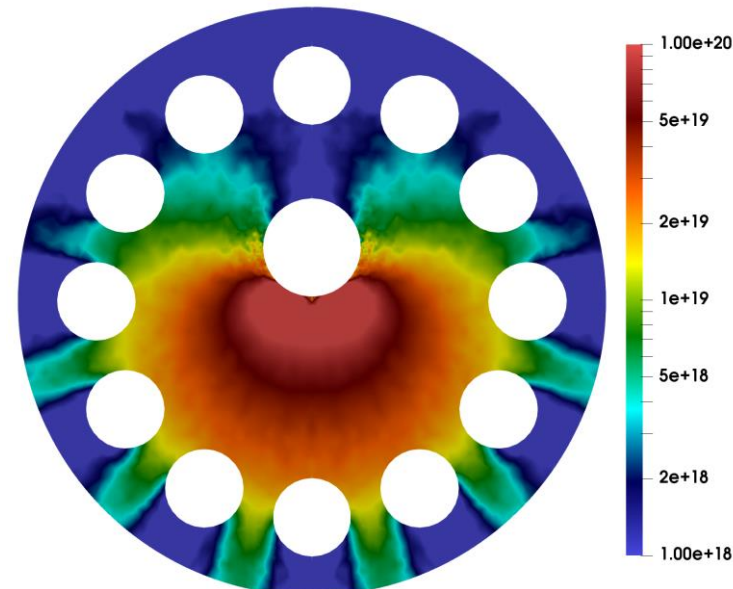


The benchmark

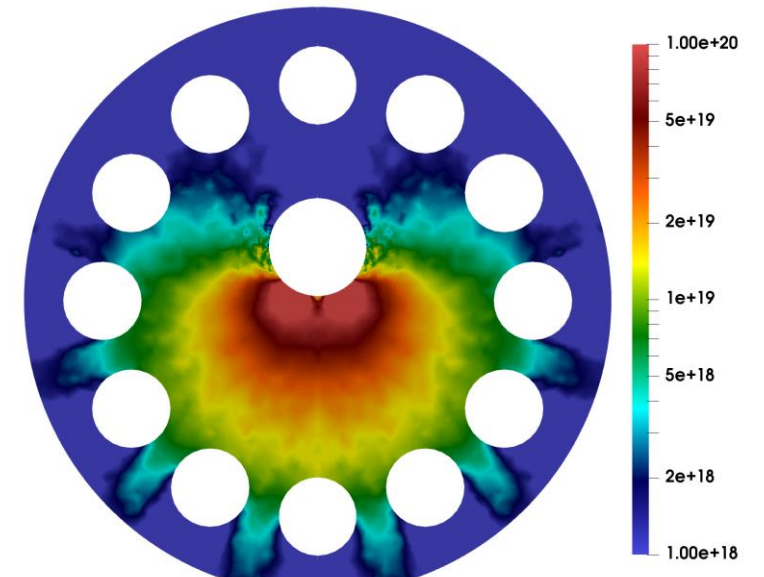
- Composite WBC coating grown from a segmented target, holder rotation switched off
- Hypothesis: tungsten moves more or less ballistically, boron and carbon get scattered



Tungsten flux [$1/(m^2s)$]



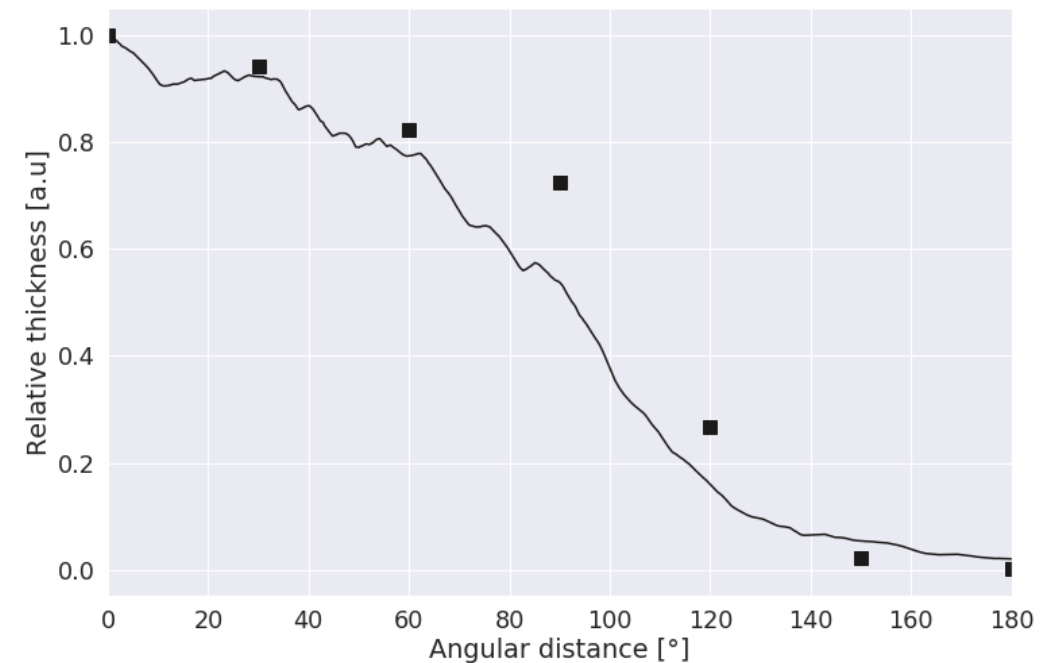
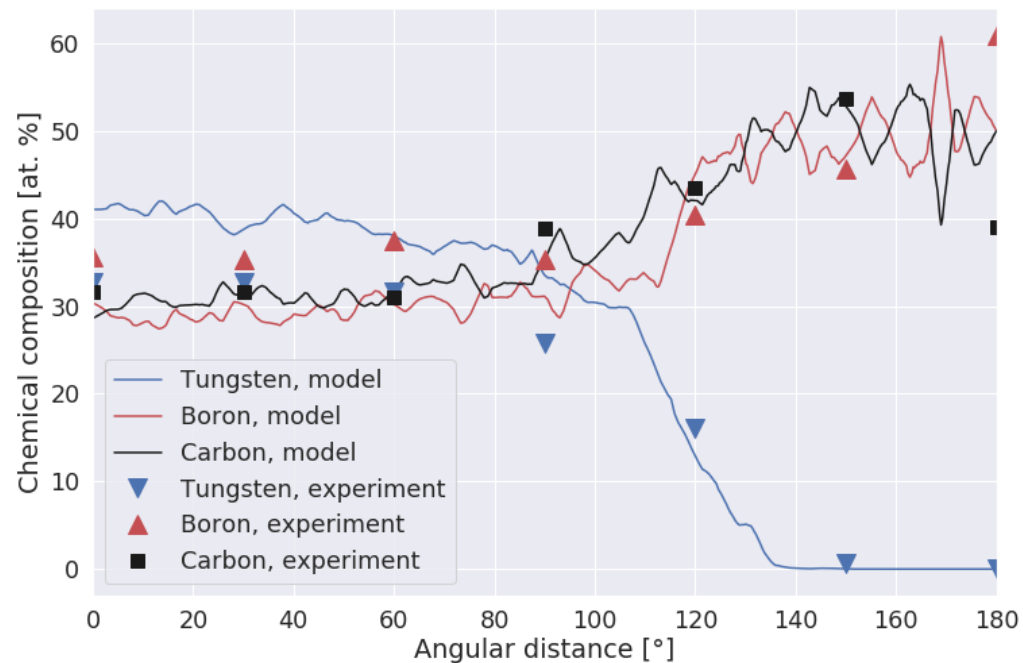
Carbon flux [$1/(m^2s)$]



Boron flux [$1/(m^2s)$]

The bottomline

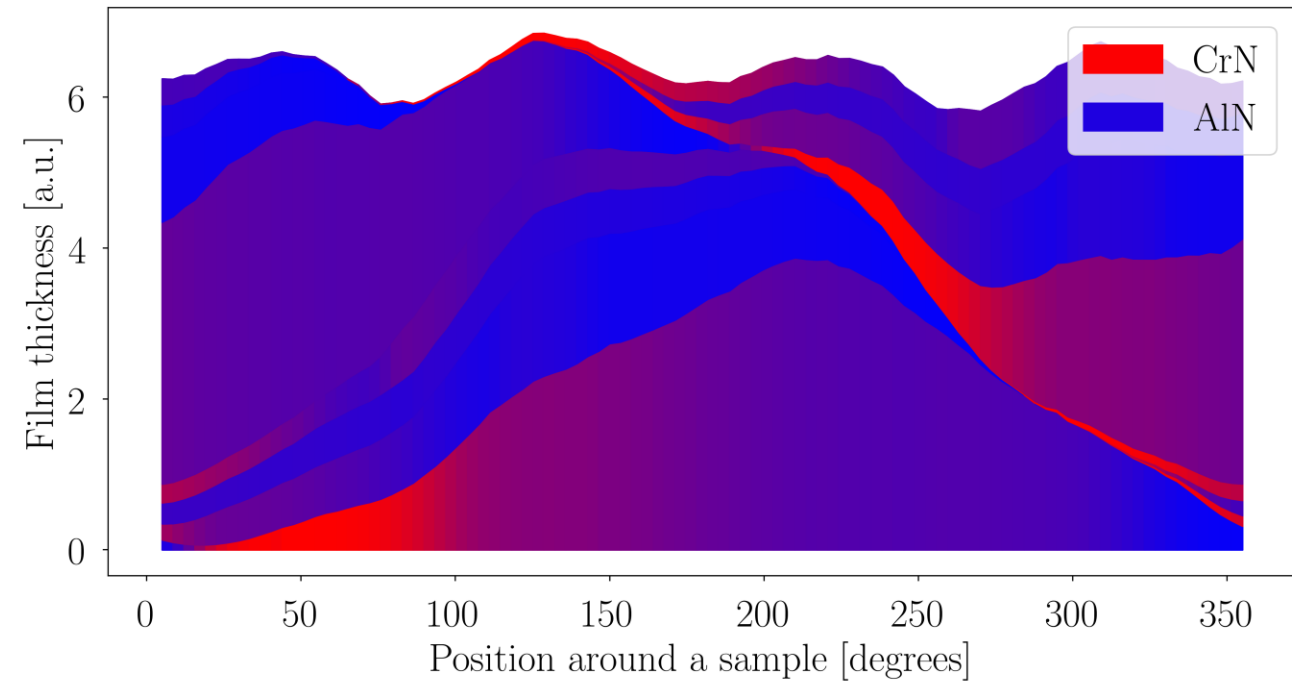
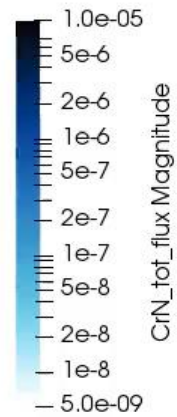
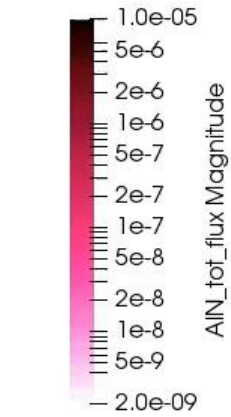
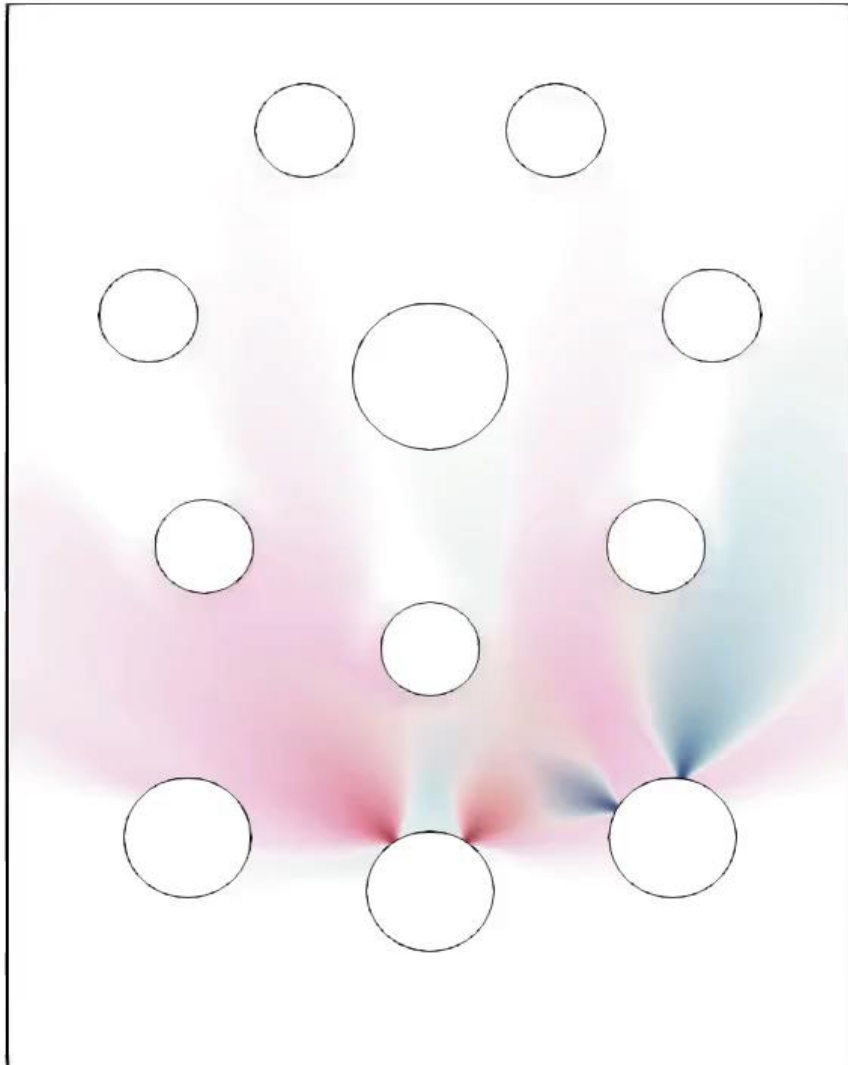
- Simulated thickness and composition agree very well with the measurements



**Několik postřehů z praxe,
které nebudete brát vážně**

Že jsme vůbec schopni vydělat simulacema nějaké peníze stojí na třech faktech:

1. Používáme cloudové technologie (Amazon aws)
2. Neprogramujeme si sami nic, pokud to není nezbytně nutné (využíváme především open-source knihovny, ale i komerční nástroje)
3. Řešíme konkrétní problémy a dobře rozumíme jim i fyzice, kterou se řídí
4. Se zákazníky nemluvíme moc o fyzice, a už vůbec ne o numerice



Dále je třeba si uvědomit, že umět pouze fyziku zdaleka nestačí. Další nezbytné schopnosti:

1. Jednání a komunikace (schůzky, emaily, cenovky, návrhy projektů)
2. Prezentace a jazyková vybavenost
3. Vedení projektů, týmová práce
4. Plánování projektů a financí, marketing
5. ...

Pokud přemýšlíte, že byste také chtěli podnikat, tak se zamyslete především nad následujícím:

1. Máte konkrétní představu o službě/produktu a především o problému, který chcete řešit? V čem přesně je přidaná hodnota?
2. Jak velký je trh pro váš produkt/službu? Kolik tím kdo ušetří?
3. Jste připraveni nést všechna rizika a zodpovědnost?
4. Nezakládejte s.r.o., dokud to nebude nezbytně nutné!
5. Je opravdu váš současný plat tak nízký?
6. Je osmihodinová pracovní doba vážně tak dlouhá?

Praxi nabízíme studentům:

1. Pro studenty bez zkušeností stáže (naučíme simulace)
2. Pro studenty se zkušeností brigády, po vyzkoušení úvazky

Hodí se:

1. Programovat v Pythonu (případně c++), základy numeriky
2. Umět fyziku (plazmatu)
3. Chuť se učit novým věcem
4. Specifický smysl pro humor

+ Speciálně hledáme učenlivou sebevědomou člověka na pozici COO/project manager

Díky za pozornost!

Diskuze