

Προσομοιώσεις για την κατασκευή προηγμένων φωτοβολταϊκών διατάξεων

Αντώνης Φλωράκης – 30-05-2016

TOTAL New Energies

Acknowledgements

Το περιεχόμενο της παρουσίασης είναι το αποτέλεσμα συνεργασίας με διάφορους φορείς και ανθρώπους:

Imec: W. Vandervorst, J. Poortmans, T. Jannsens, M. Debucquoy, A. Schulze, A. Khambham

TOTAL New Energies: Cell & module teams

Sunpower: Cell & module teams



TOTAL
COMMITTED TO BETTER ENERGY



Disclaimer

Απαγορεύεται η διανομή ή δημοσίευση μέρους ή ολόκληρης της παρουσίασης καθ' οποιονδήποτε τρόπο χωρίς έγγραφη άδεια του συγγραφέα της παρουσίασης.

Το παρόν υλικό δεν αποτελεί επίσημη παρουσίαση της TOTAL New Energies ή του Imec.vzw

Περιεχόμενα

- Σύντομο CV
- Φωτοβολταϊκές διατάξεις
- Προσομοιώσεις για την κατασκευή φωτοβολταϊκών διατάξεων
 - Process modeling
 - Device modeling
 - Οπτικές προσομοιώσεις
 - Ηλεκτρικές προσομοιώσεις
- Προσομοιώσεις για καινοτόμες FET διατάξεις

Σύντομο Βιογραφικό: Αντώνης Φλωράκης

Τωρινή ενασχόληση:

Senior scientist in TOTAL New Energies

(Silicon solar cells - imec team - Leuven, Βέλγιο)

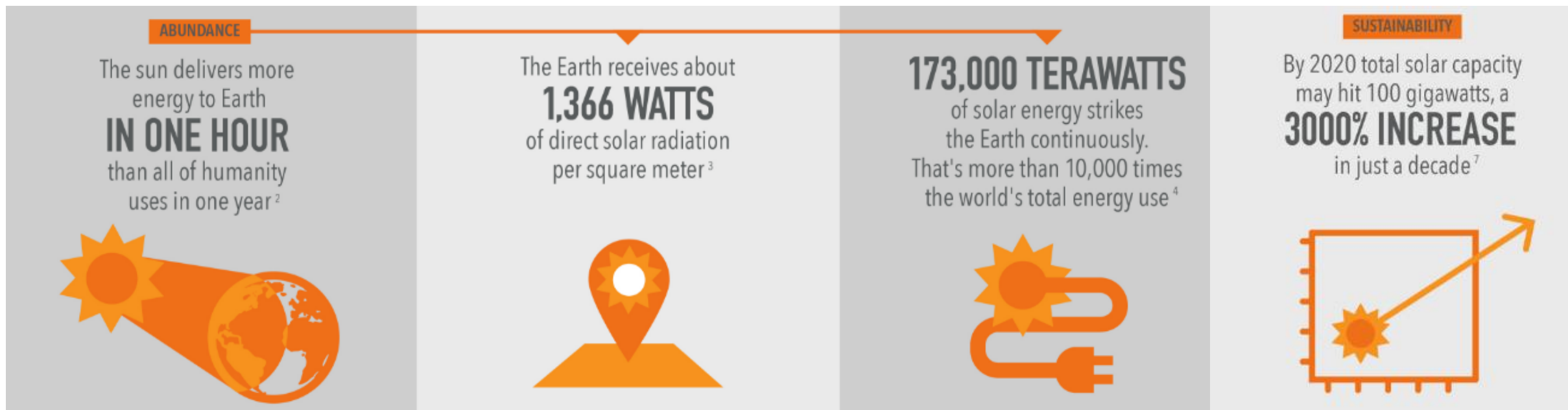
Αντικείμενο:

- Υπεύθυνος για TCAD modeling για τη σχεδίαση φωτοβολταϊκών διατάξεων

Εκπαίδευση / Εργασιακή Εμπειρία:

- **1999-2004:** Φυσικός Εφαρμογών, ΣΕΜΦΕ, ΕΜΠ
- **2004-2006:** MSc «Νανοσυστήματα και μικροδιατάξεις», ΕΜΠ
- **2007-2011:** PhD – “Υπερταχεία ανόπτηση πυριτίου με laser σε καθεστώς μη τήξης για την δημιουργία υπέρ - ρηχών επαφών” (NTU Athens); Στα πλαίσια του EU funded PullNANO integrated Project (FP6)
- **2010:** Θητεία στον Ελληνικό Στρατό
- **2011:** Μικρής διάρκειας **post doc** σε φωτοβολταϊκά (ΕΜΠ)
- **2011-2014:** 2.5 χρόνια **post doctoral** fellow at **imec / KU Leuven** (Process and Device TCAD modeling for PV and FET applications) - Leuven, Βέλγιο
- **June 2014 – παρόν:** TOTAL New Energies - Leuven, Βέλγιο

Γιατί φωτοβολταϊκή ενέργεια (?)

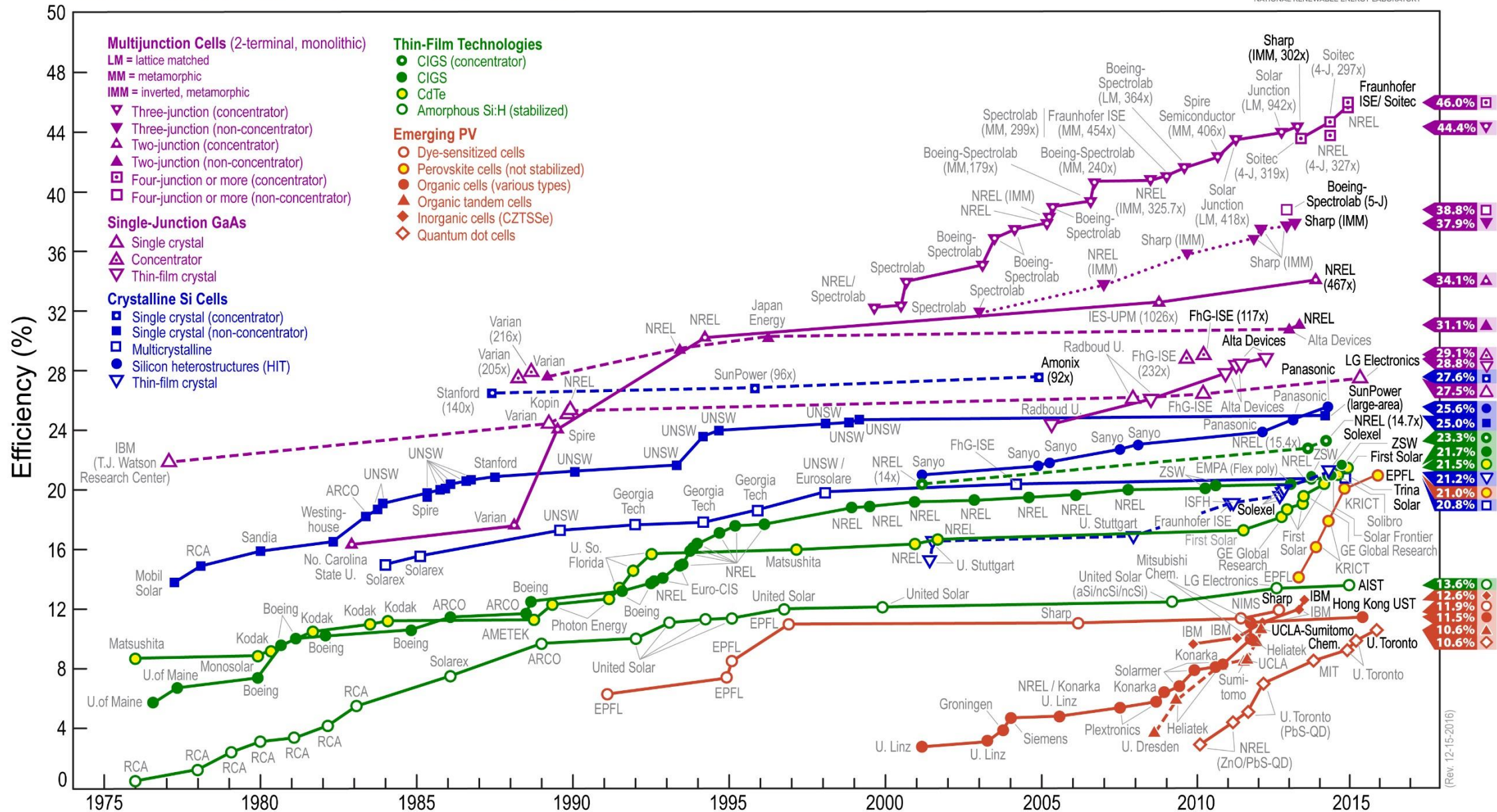


Παρόλα αυτά, για να είναι πραγματικά χρήσιμη η ηλιακή ενέργεια, πρέπει τα φωτοβολταϊκά:

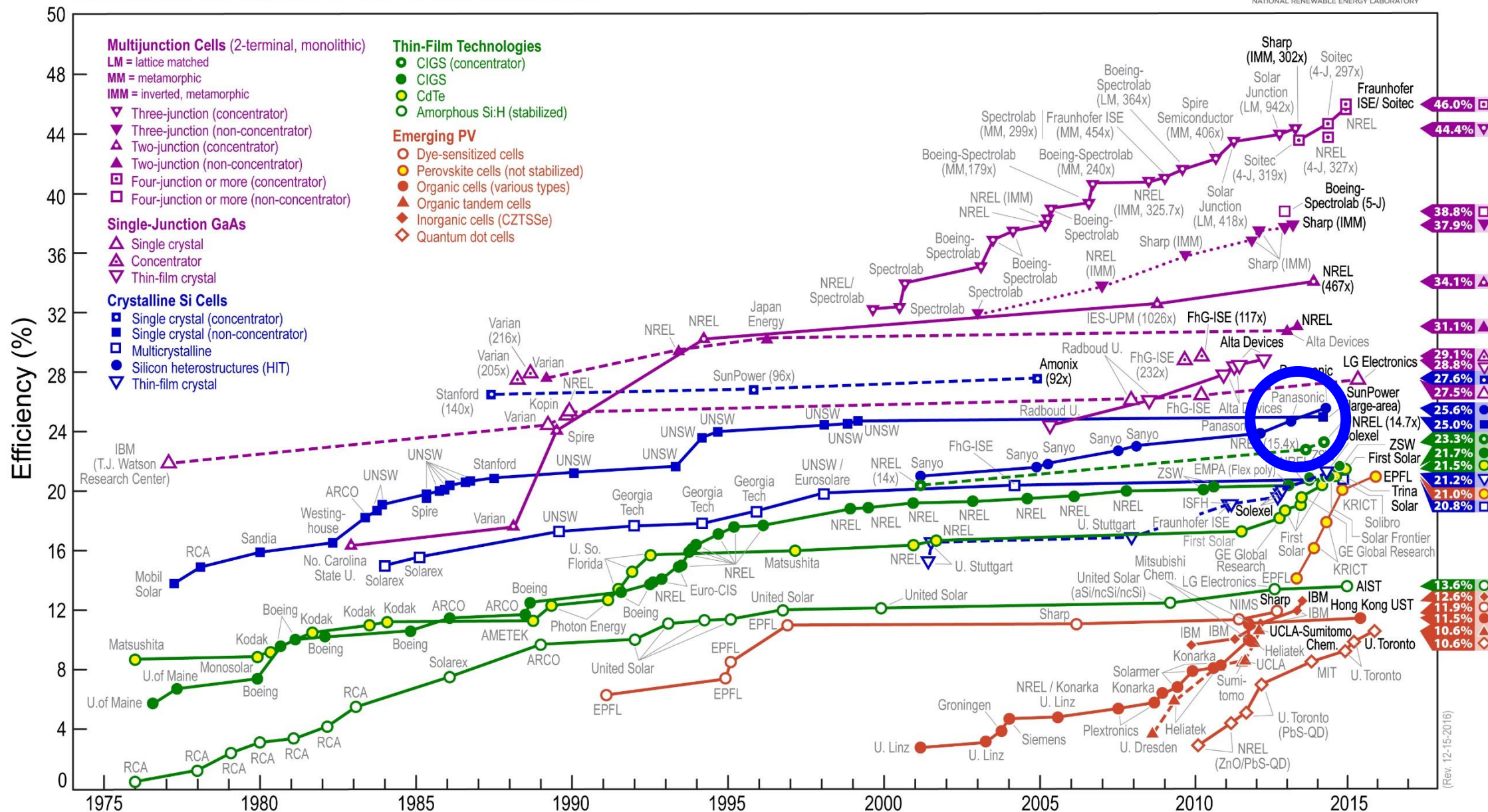
- Να έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση
- Να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας
- Να είναι αξιόπιστα και με μεγάλη διάρκεια (> 30 χρόνια ζωής)

<http://us.sunpower.com/blog/2016/05/09/infographic-cool-facts-about-how-solar-energy-works/>

Best Research-Cell Efficiencies

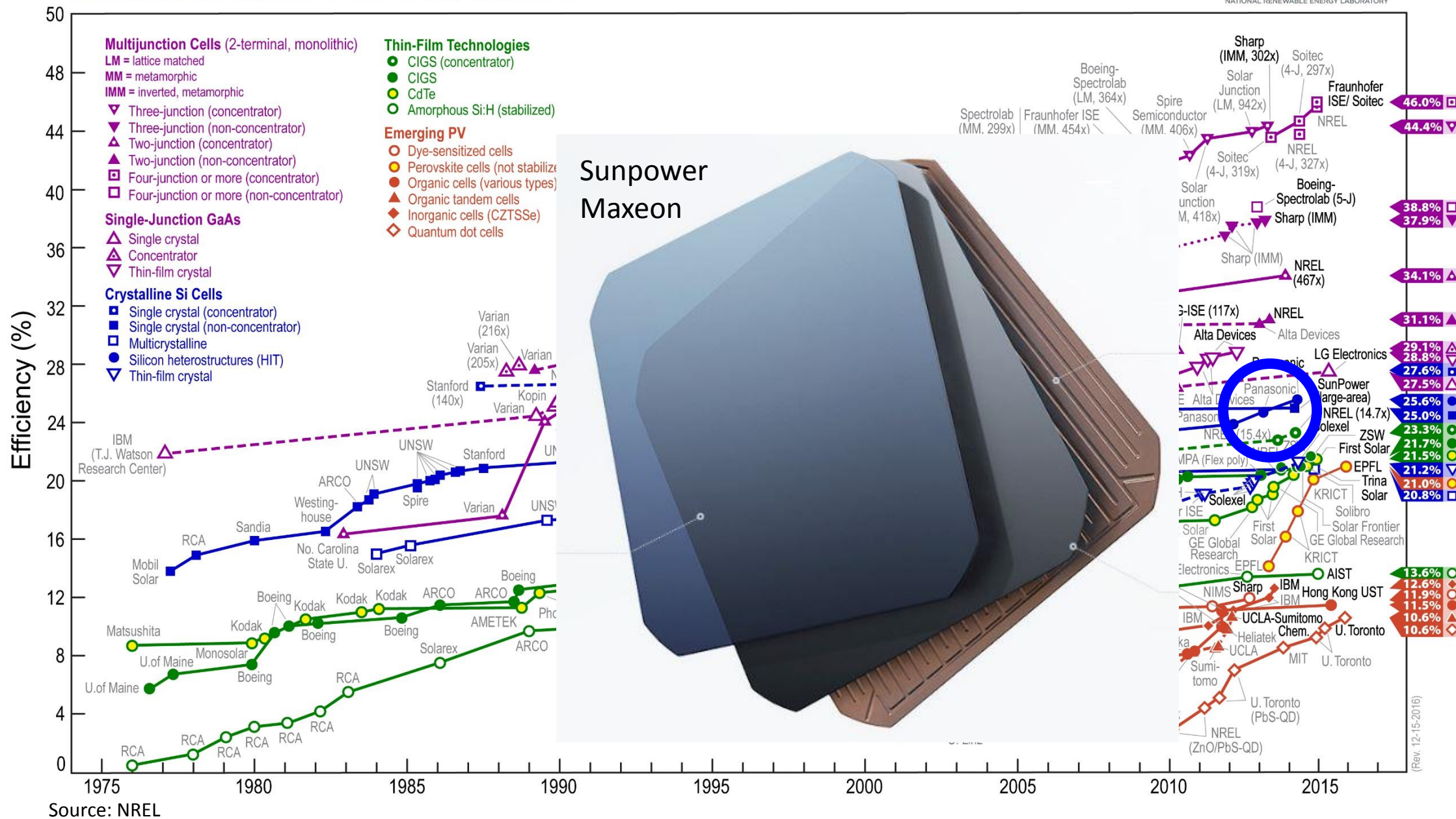


Best Research-Cell Efficiencies

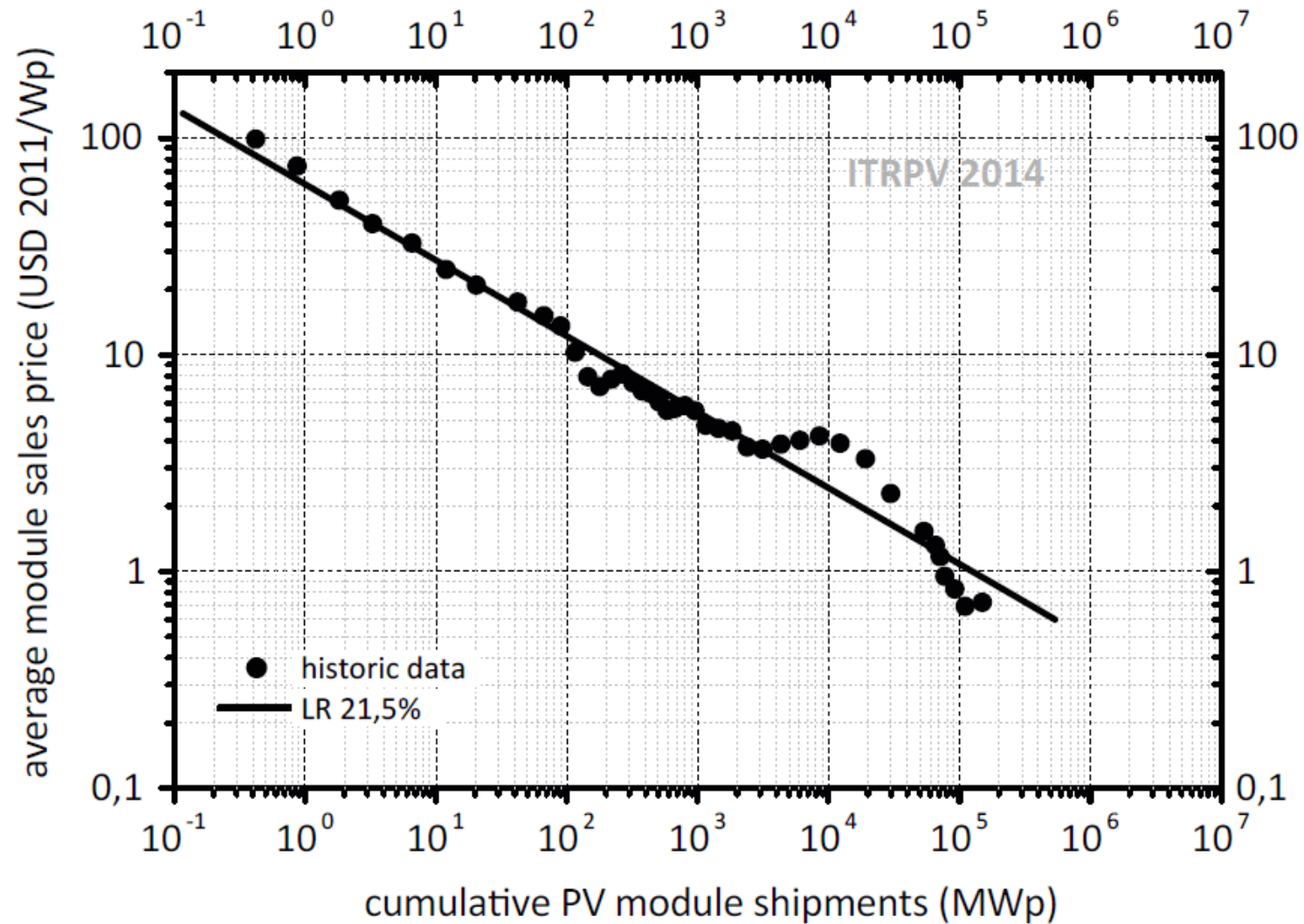


Source: NREL

Best Research-Cell Efficiencies

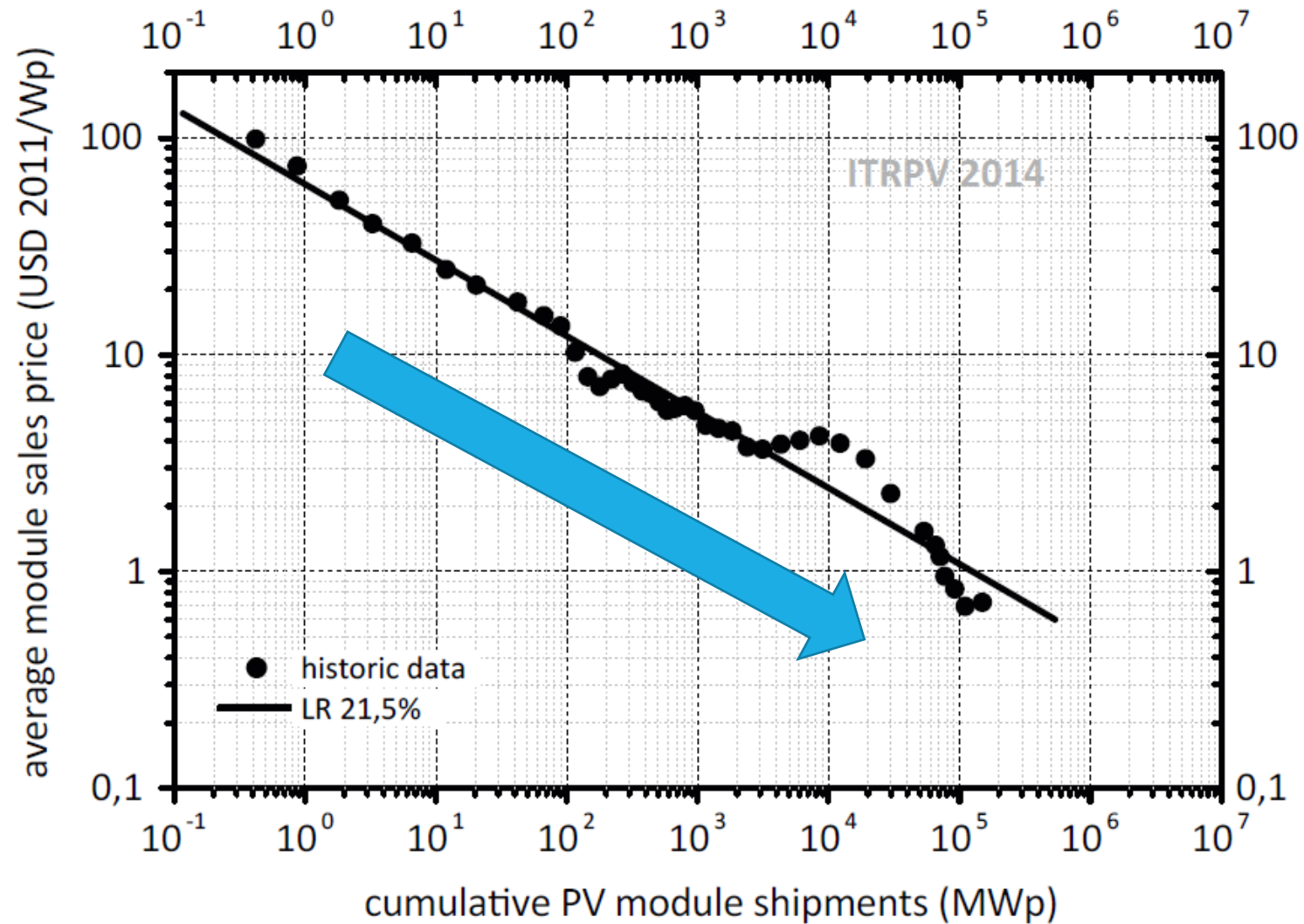


PV Learning curve



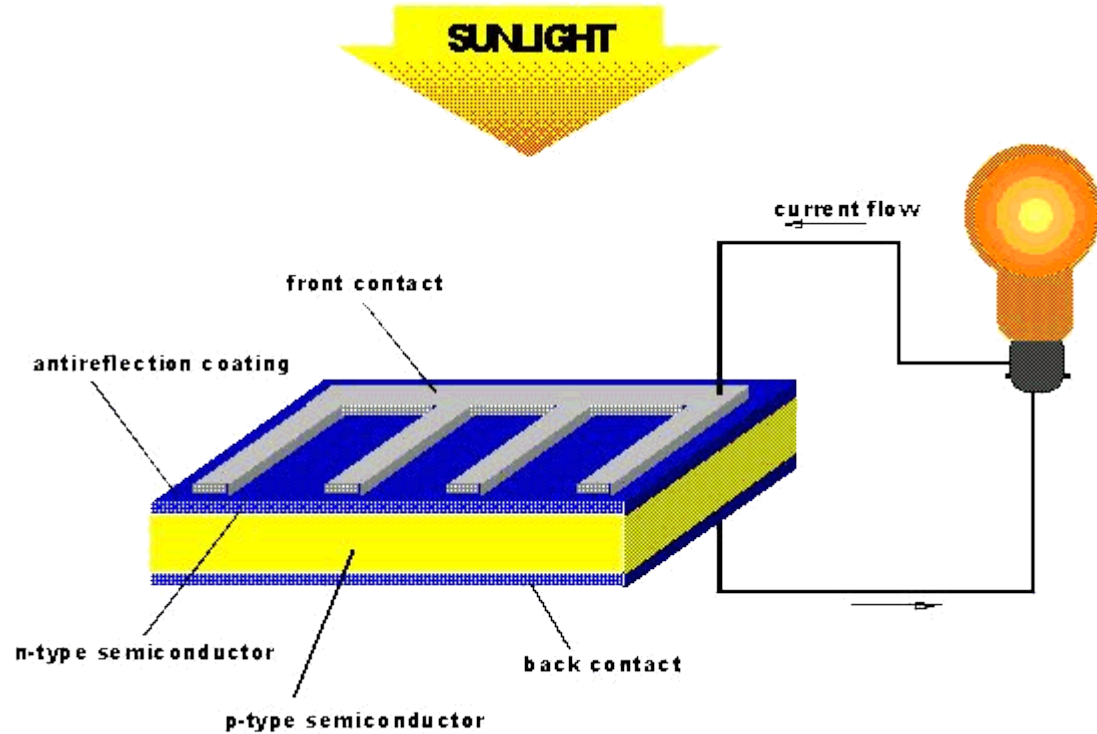
Source: ITRPV 2013

PV Learning curve



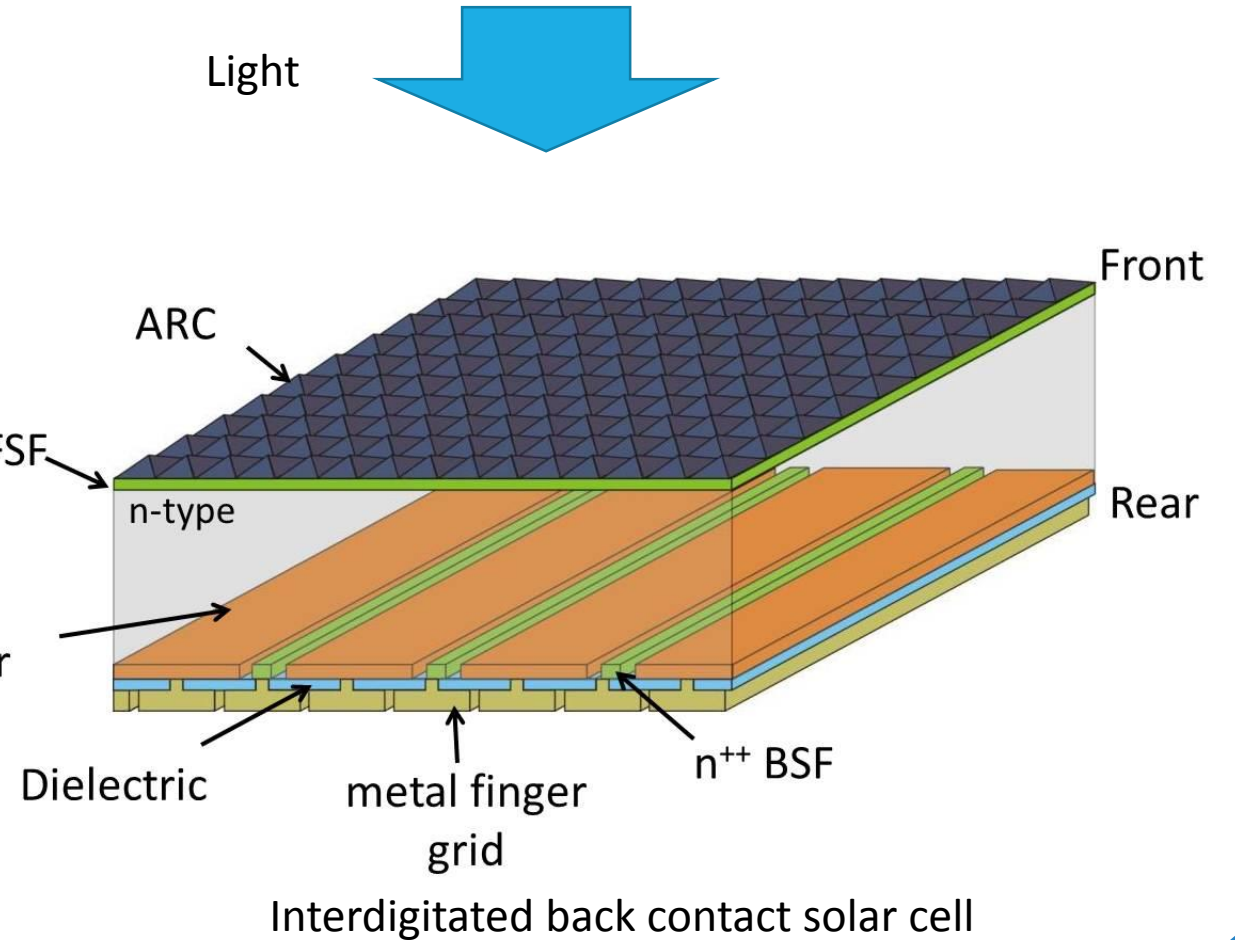
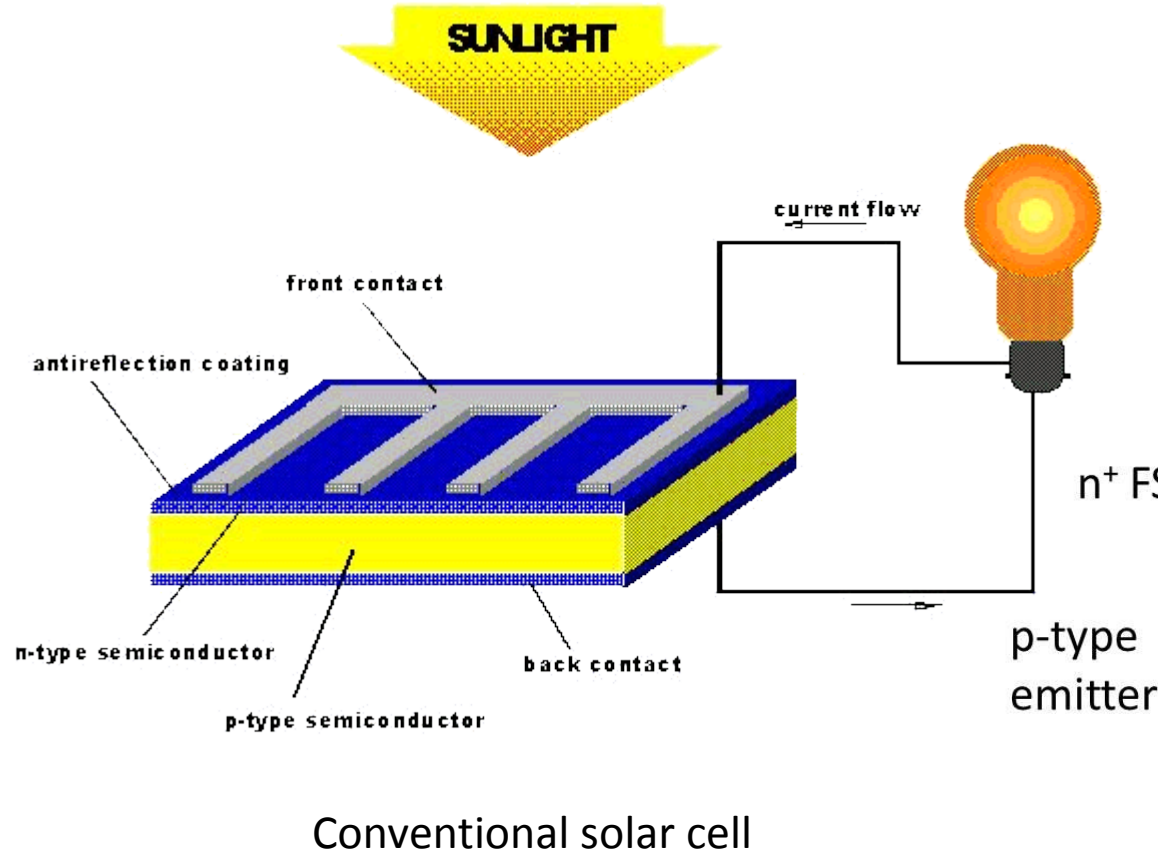
Source: ITRPV 2013

IBC vs conventional cells



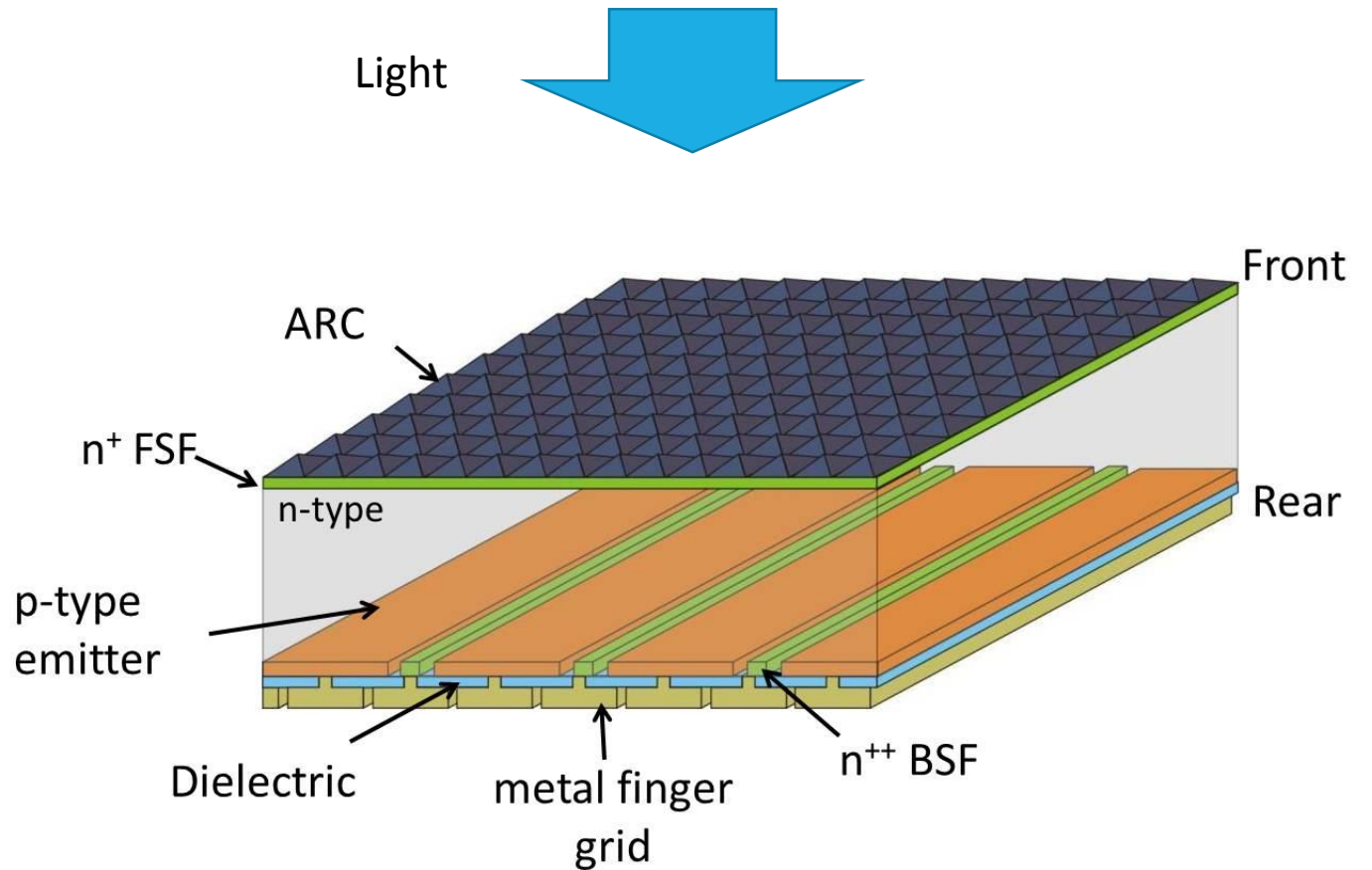
Conventional solar cell

IBC vs conventional cells



IBC vs conventional cells

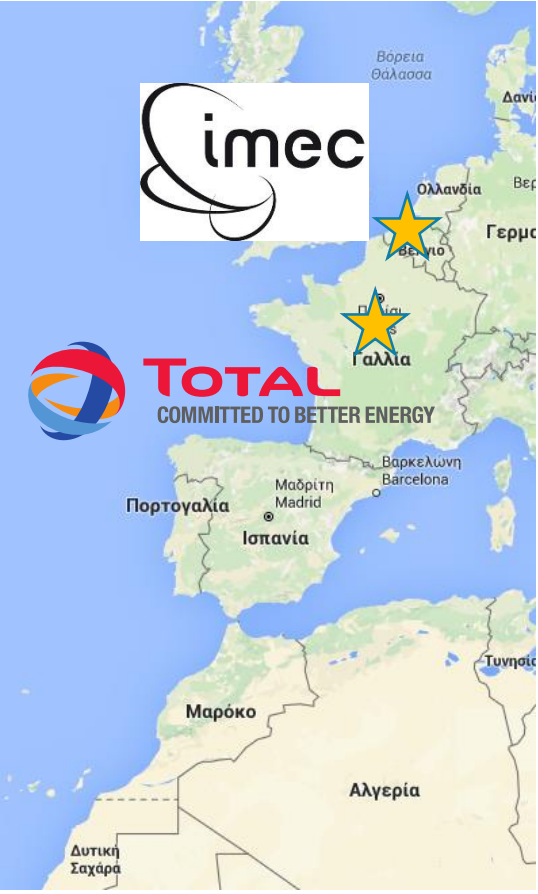
- Δεν υπάρχουν μεταλλικές επαφές στο μπροστινό μέρος → δεν υπάρχει σκίαση → ελαχιστοποίηση οπτικών απωλειών και μεγιστοποίηση του ρεύματος
- Πιο περίπλοκη κατασκευή και σχεδίαση → μεγαλύτερη ανάγκη για μοντελοποίηση

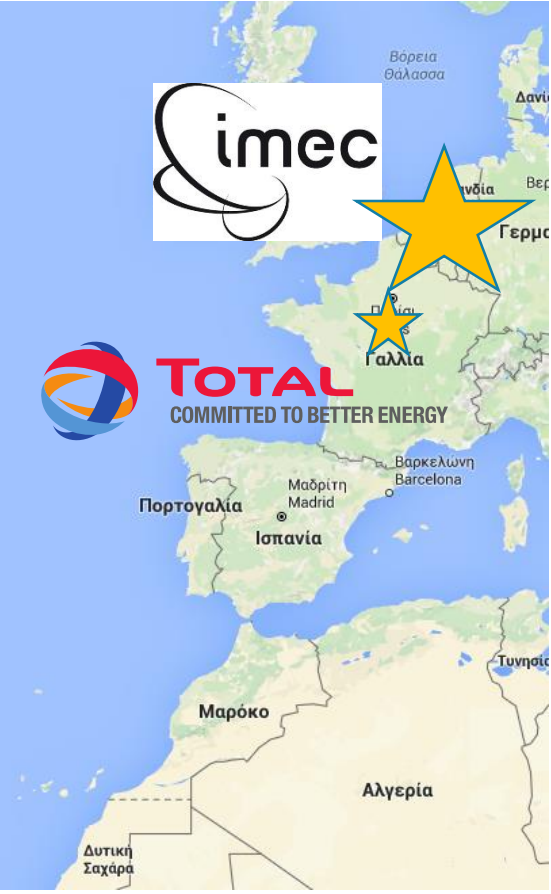


Interdigitated back contact solar cell

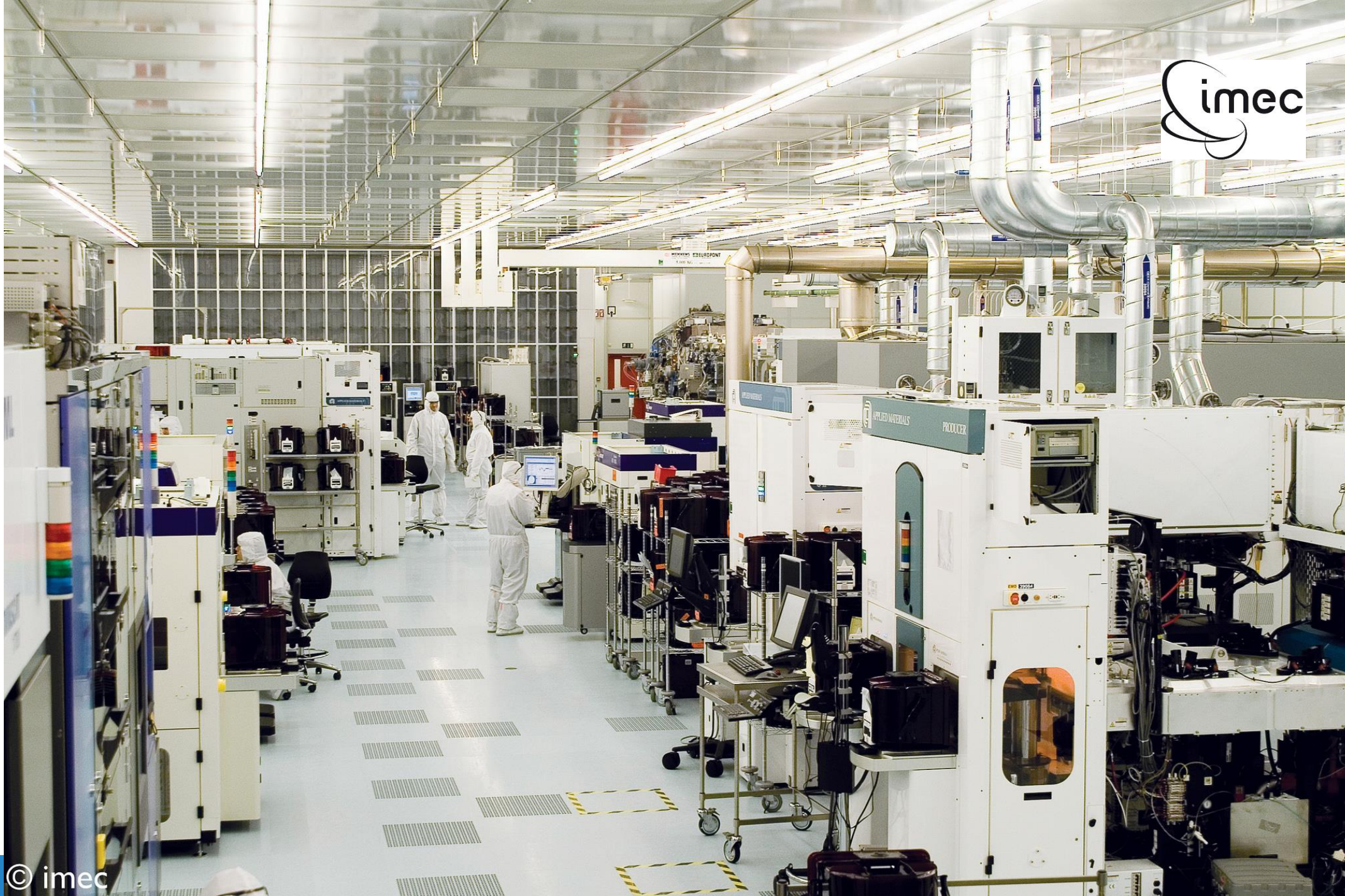






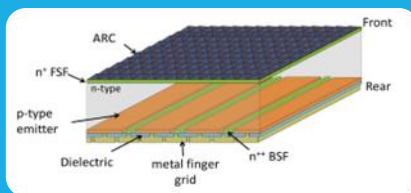






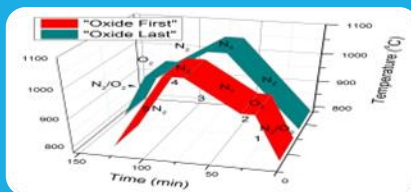
Φωτοβολταϊκά και προσομοίωση

Σε βιομηχανικό επίπεδο, 3 είναι οι κυριότεροι στόχοι κατά τη σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ:



Μεγιστοποίηση της απόδοσης

- Βελτίωση κατασκευαστικών παραμέτρων όπως J_{sc} , V_{oc} και Filling Factor
- Ελαχιστοποίηση των απωλειών (οπτικών ή ηλεκτρικών)



Μείωση του κόστους ανά μονάδα ενέργειας

- Βελτιστοποίηση των τεχνικών κατασκευής
- Εύρεση υλικών / τεχνικών που κάνουν το ίδιο πράγμα, αλλά φθηνότερα



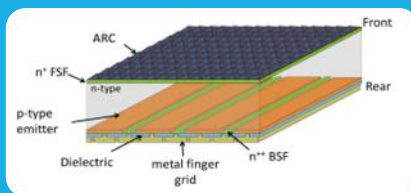
Αξιοπιστία / μεγάλη διάρκεια ζωής

- Μείωση όλων των παραγόντων που οδηγούν σε βαθμιαία υποβάθμιση των ιδιοτήτων
- Υλικά, ηλεκτρική συνδεσμολογία και προστασία από το περιβάλλον

Φωτοβολταϊκά και προσομοίωση

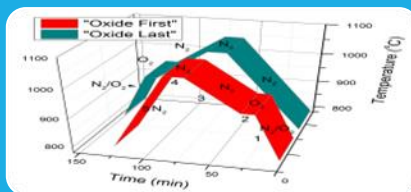
Σε βιομηχανικό επίπεδο, 3 είναι οι κυριότεροι στόχοι:

Προσομοίωση



Μεγιστοποίηση της απόδοσης

- Βελτίωση κατασκευαστικών παραμέτρων όπως J_{sc} , V_{oc} και Filling Factor
- Ελαχιστοποίηση των απωλειών (οπτικών ή ηλεκτρικών)



Μείωση του κόστους ανά μονάδα ενέργειας

- Βελτιστοποίηση των τεχνικών
- Εύρεση υλικών / τεχνικών που κάνουν το ίδιο πράγμα, αλλά φθηνότερα



Αξιοπιστία / μεγάλη διάρκεια ζωής

- Μείωση όλων των παραγόντων που οδηγούν σε βαθμιαία υποβάθμιση των ιδιοτήτων
- Υλικά, ηλεκτρική συνδεσμολογία και προστασία από το περιβάλλον



Γιατί να ξοδέψεις για προσομοιώσεις στο R&D?

- Μείωση του αριθμού των αναγκαίων πειραμάτων : μείωση κόστους και βελτιστοποίηση της λειτουργίας της διάταξης
- Ευκολότερη διερεύνηση για exploratory concepts
- Εις βάθος κατανόηση των μηχανισμών. Αποτελεσματικότερη προσέγγιση σε σχέση με “trial and error”
- Οι server λειτουργούν πάντα (*), οι πειραματικές διατάξεις όχι πάντα 😊



(*) As long as there is dedicated exclusive license
Subject to server operation

Process modeling:

Η Νόθευση με προσμίξεις και η ανόπτηση είναι δυο από τις σημαντικότερες διεργασίες κατά την σχεδίαση και κατασκευή φωτοβολταϊκών

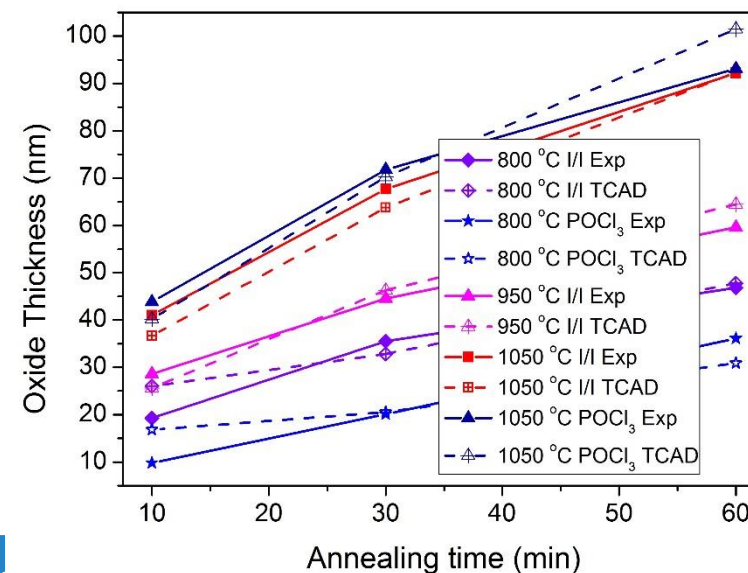
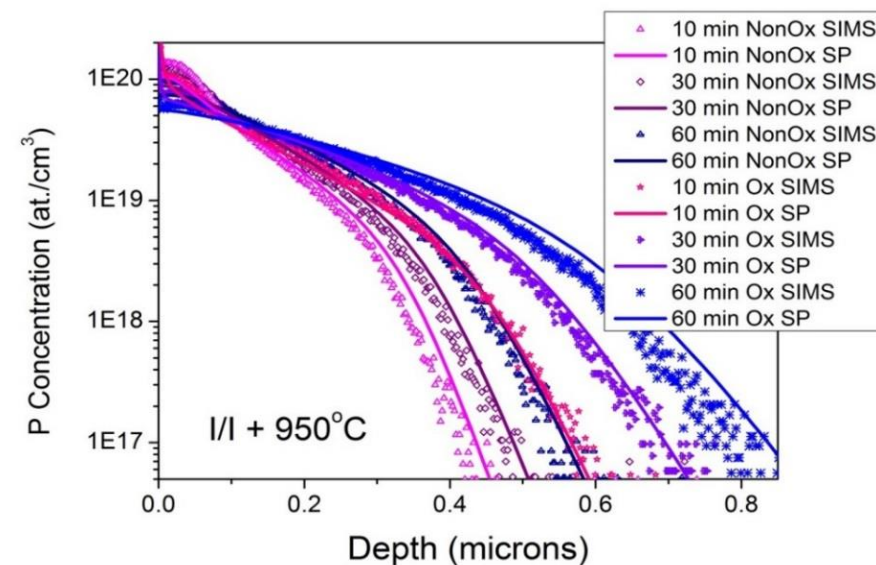
Είναι αναγκαία, η πρόβλεψη με ακρίβεια

- Του αρχικού προφίλ προσμίξεων (διαφορετικές τεχνικές και συνθήκες)
- Του τελικού προφίλ (μετά από τα διάφορα θερμικά βήματα), μαζί με το διάφορες άλλες κατασκευαστικές παραμέτρους (αντίσταση, πάχος οξειδίου κτλ)

A. Florakis et al. / Energy Procedia 27 (2012)

A. Florakis et al. / IIT 12 conference proc. (invited) (2012)

A. Florakis et al. / J. Comput Electron (invited) (2013)



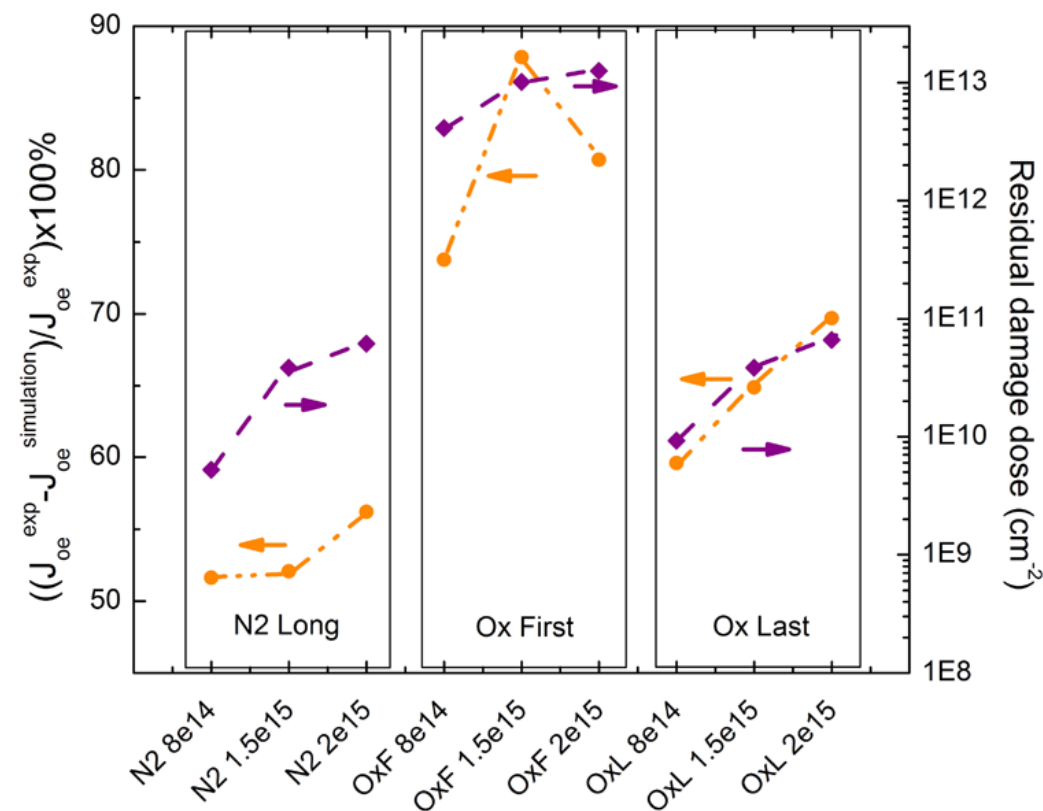
Process modeling:

Η Νόθευση με προσμίξεις και η ανόπτηση είναι δυο από τις σημαντικότερες διεργασίες κατά την σχεδίαση και κατασκευή φωτοβολταϊκών

Είναι αναγκαία, η πρόβλεψη με ακρίβεια

- Του αρχικού προφίλ προσμίξεων (διαφορετικές τεχνικές και συνθήκες)
- Του τελικού προφίλ (μετά από τα διάφορα θερμικά βήματα)
- **Της ζημιάς που έχει υποστεί το κρυσταλλικό πλέγμα (μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες στη μετέπειτα απόδοση της διάταξης)**

Η επιτυχής μοντελοποίηση επιτρέπει την βελτιστοποίηση της σχεδίασης σε σχετικά σύντομο χρόνο και με μικρότερο κόστος

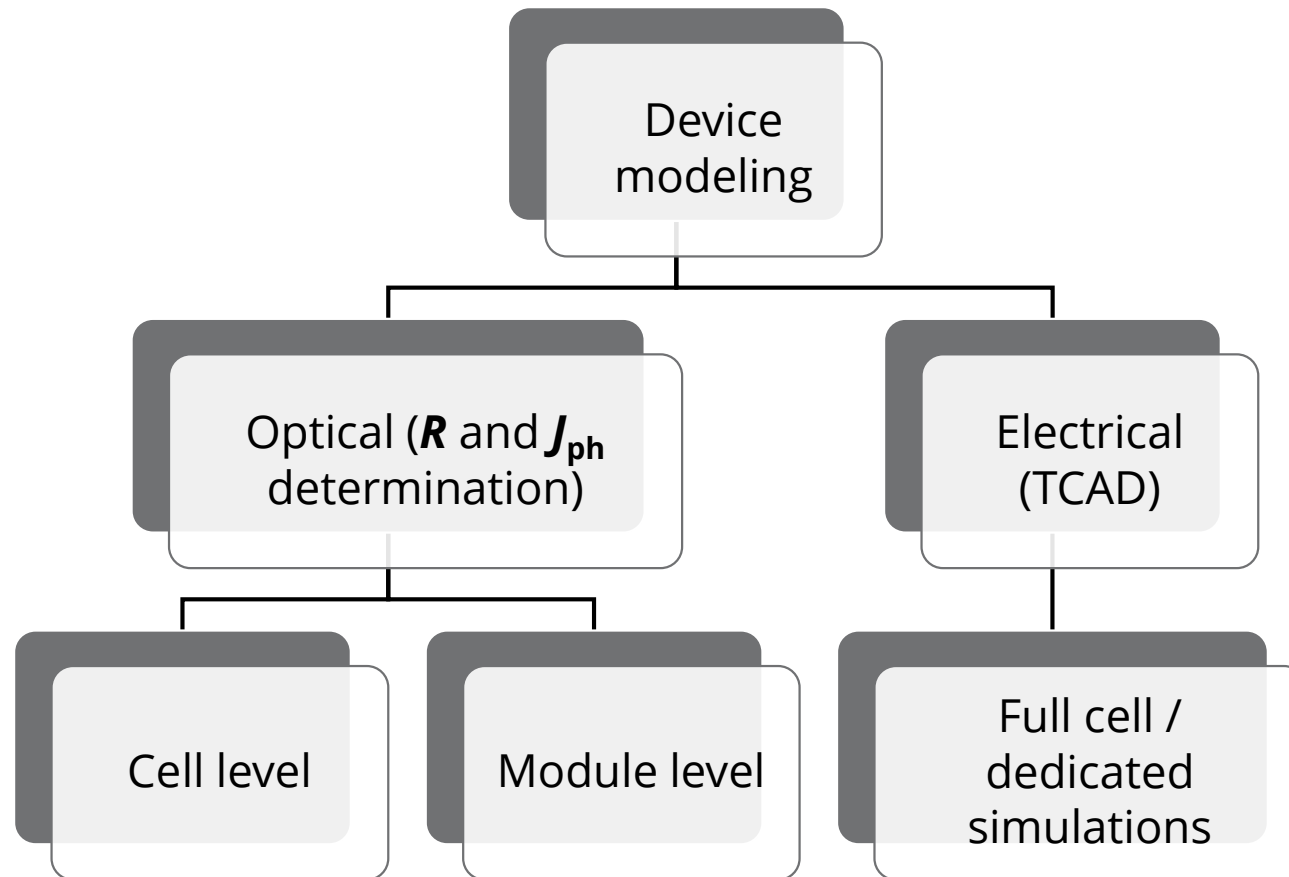


A. Florakis et al. / Energy Procedia 27 (2012)

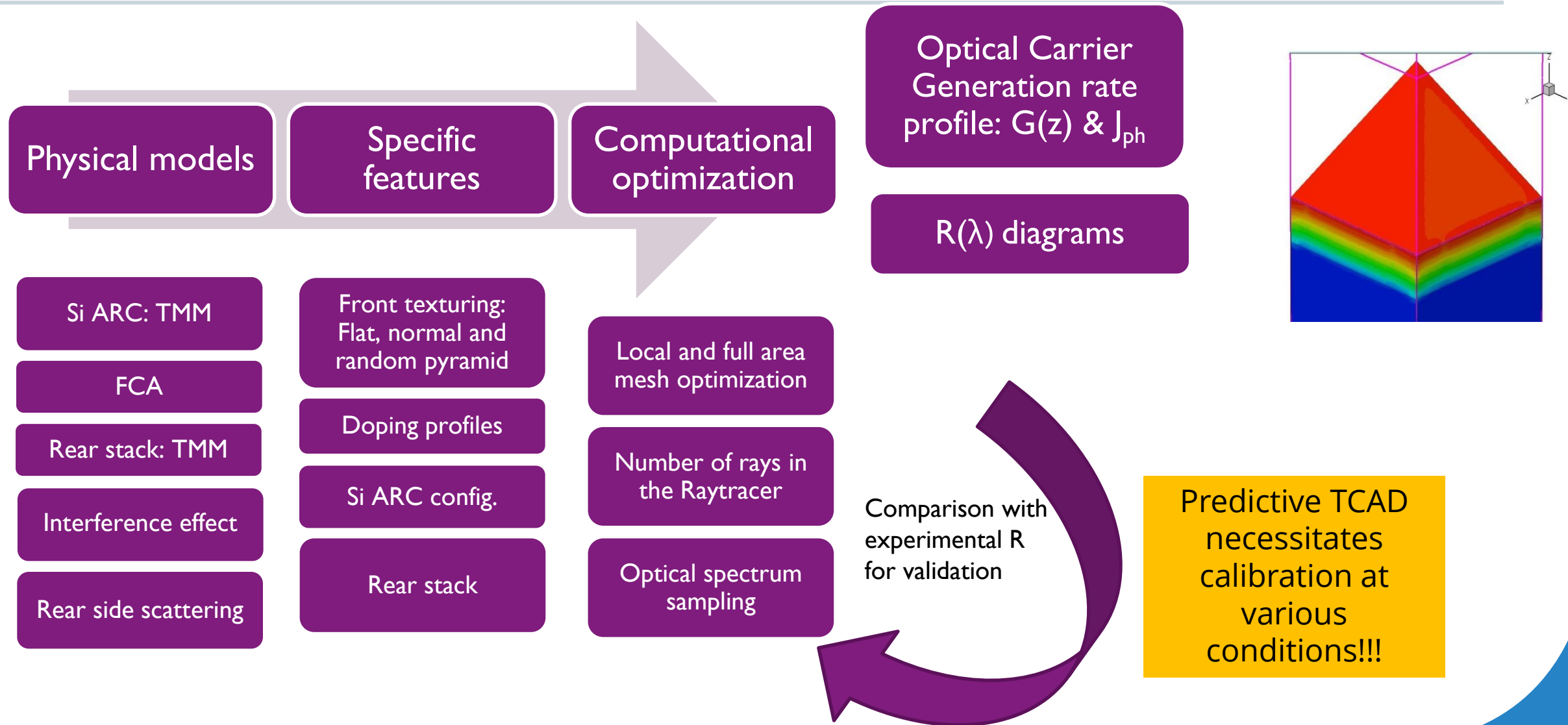
A. Florakis et al. / IIT 12 conference proc. (invited) (2012)

A. Florakis et al. / J. Comput Electron (invited) (2013)

Main Device modeling activities



1. 3D οπτικές προσομοιώσεις – Φυσικό υπόβαθρο

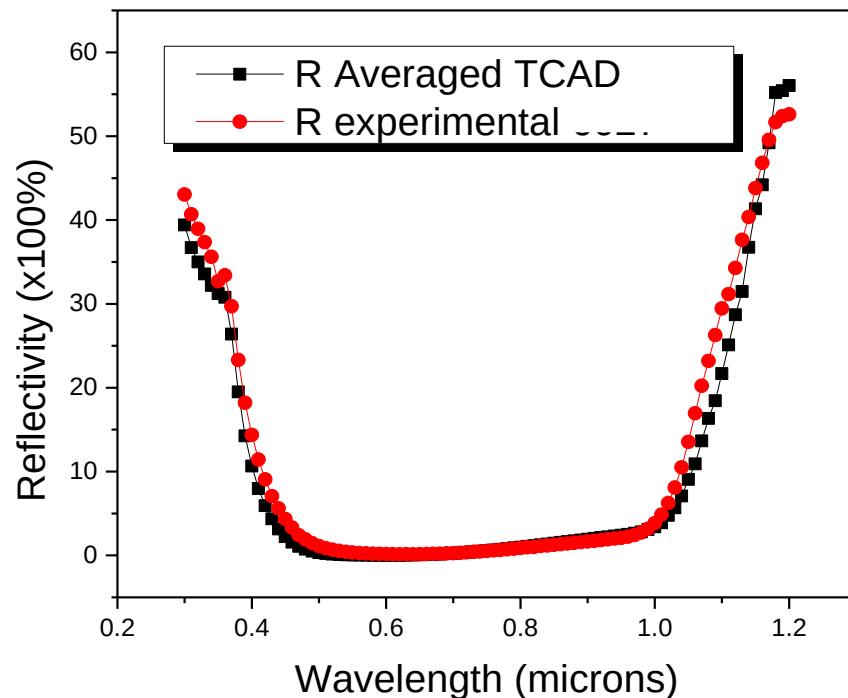


Οπτικές προσομοιώσεις - Ενδεικτικά αποτελέσματα

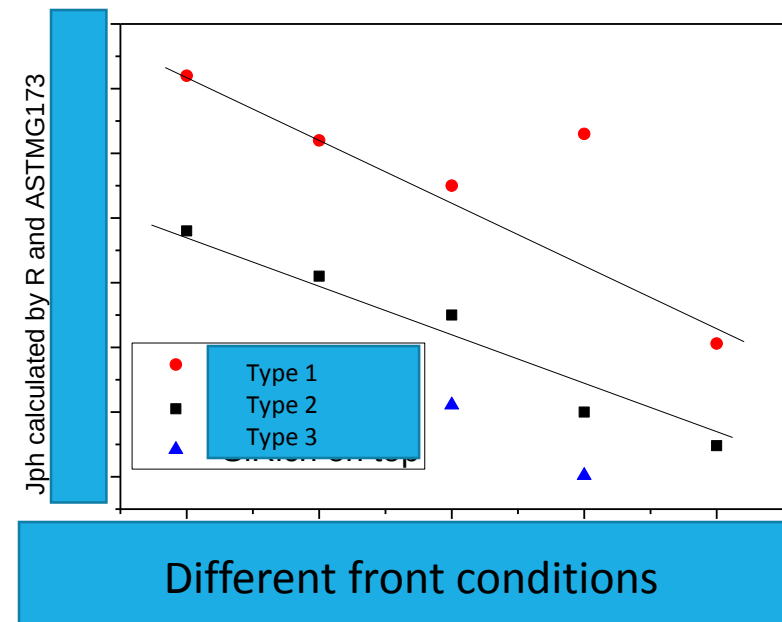
Με τη βοήθεια των οπτικών προσομοιώσεων μπορούμε να δούμε την επίδραση στην οπτική συμπεριφορά (φωτορεύμα, ανακλαστικότητα κ.α.) λόγω της μεταβολής διαφόρων παραμέτρων :

- Διαφορετικά υλικά στο μπροστινό και πίσω μέρος του cell
- Χρήση διαφορετικού γυαλιού και encapsulation
- Διαφορετικό πάχος των διαφόρων στρωμάτων
- Διαφορετικό texturing της επιφάνειας (π.χ πυραμίδες)

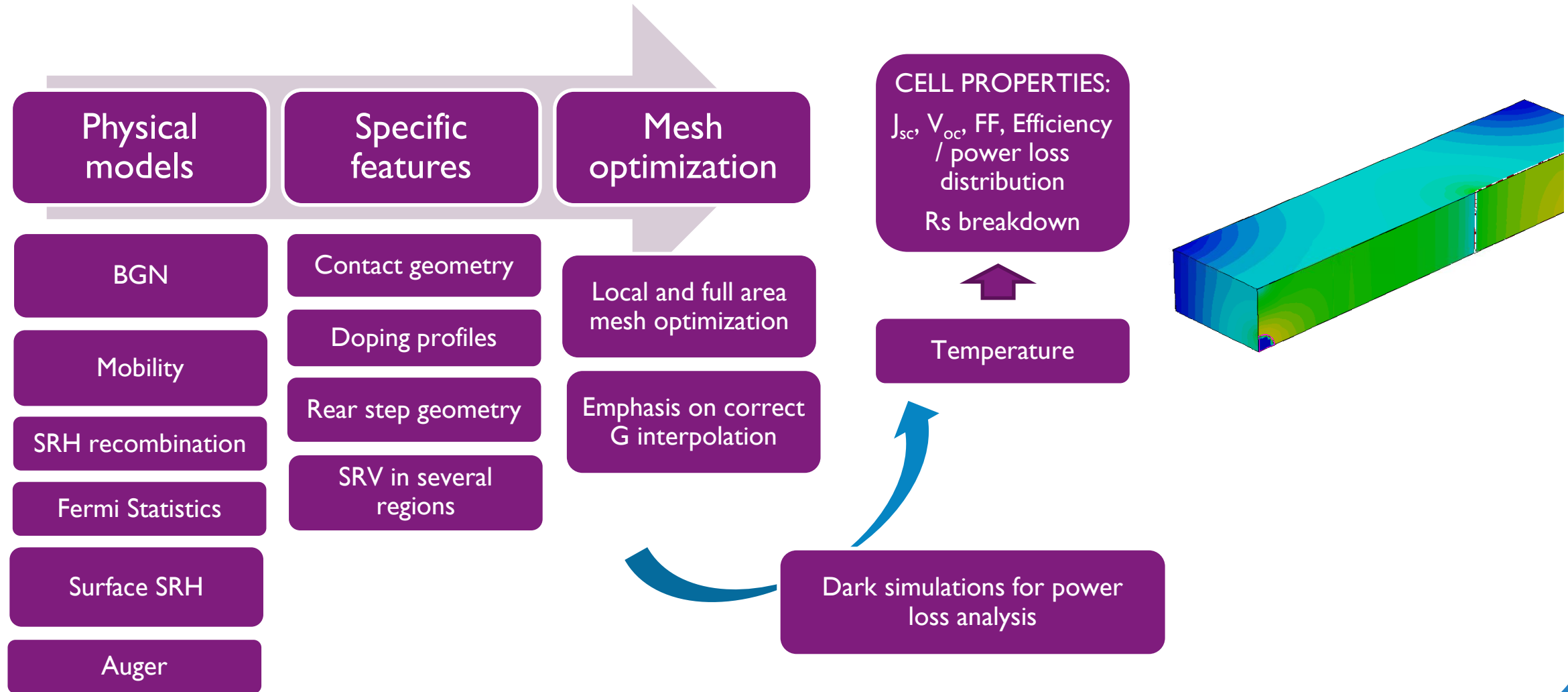
Imec's IBC cell



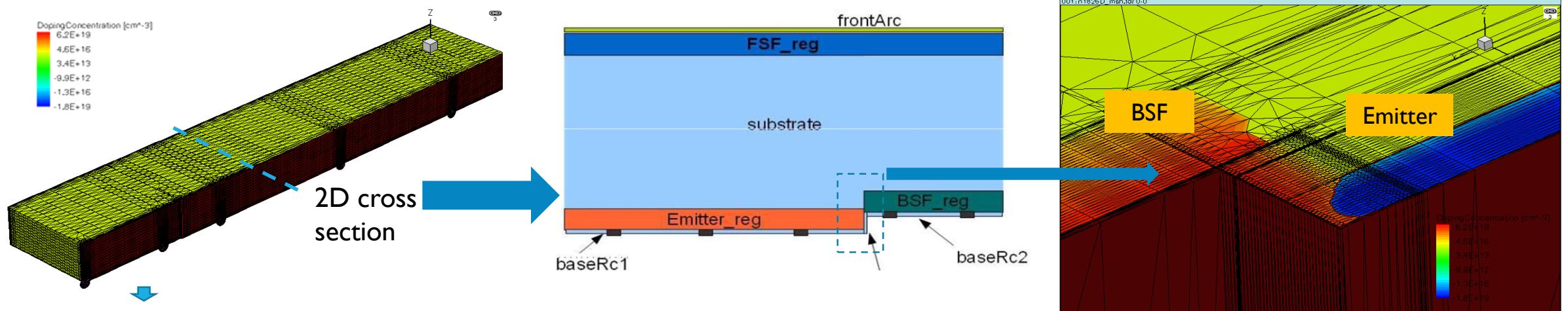
Επίδραση διαφορετικού texturing και αντι-ανακλαστικών υποστρωμάτων στο φωτορεύμα



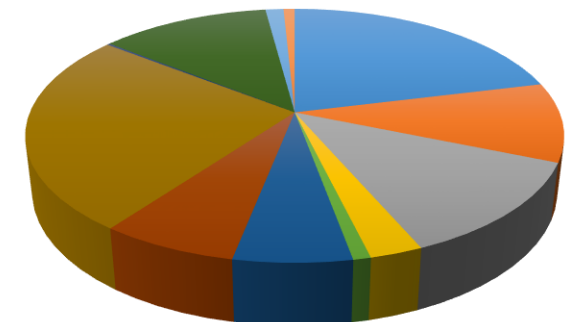
2. 3D ηλεκτρικές προσομοιώσεις – Φυσικό υπόβαθρο



Ηλεκτρικές προσομοιώσεις – Ενδεικτικά αποτελέσματα



Power loss analysis



■ J0 EMITTER srh: ■ J0 EMITTER surf: ■ J0 EMITTER aug: ■ J0 EMITTER met: ■ J0 BSF srh:
■ J0 BSF surf: ■ J0 BSF aug: ■ J0 BSF met: ■ J0 FSF srh: ■ J0 FSF surf:
■ J0 FSF aug: ■ J0 BULK srh: ■ J0 BULK aug: ■ J0 BULK rad:

Property	TCAD	Experiment	Rel Dif x100%
J_{sc} (mA/cm ²)	41.76	41.48	0.67
V_{oc} (mV)	689.2	690	-0.11
FF	81.85	80.8	0.18
Efficiency	23.27	23.1	0.79



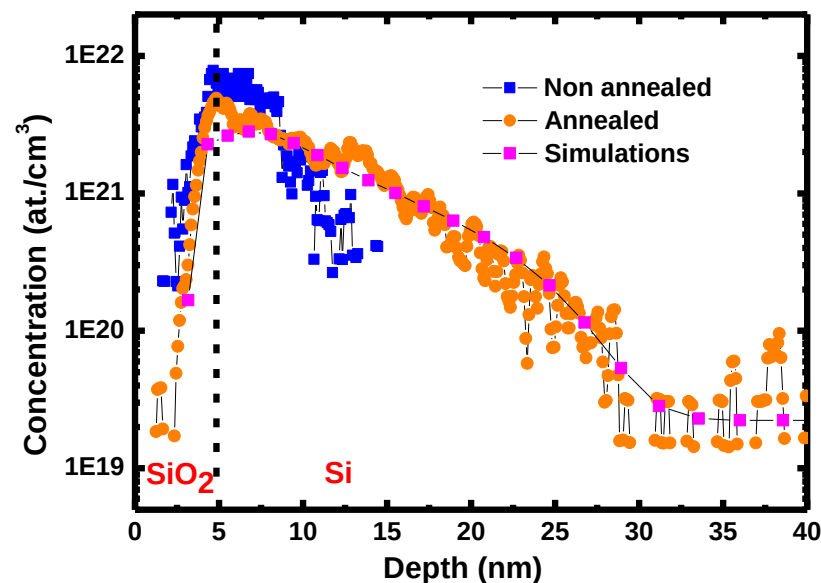
Παράρτημα:
Εφαρμογές σε καινοτόμες διατάξεις FET
(Microelectronics)

Process modeling: SRPD doping + spike annealing

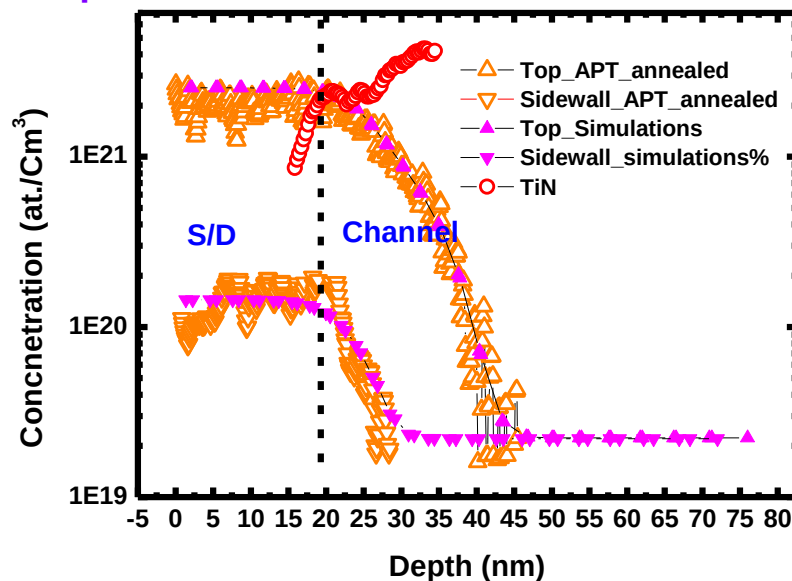
Application: FinFETs

Motivation: 2D As diffusion modeling for FinFET doping, and comparison with Atom Probe profiles

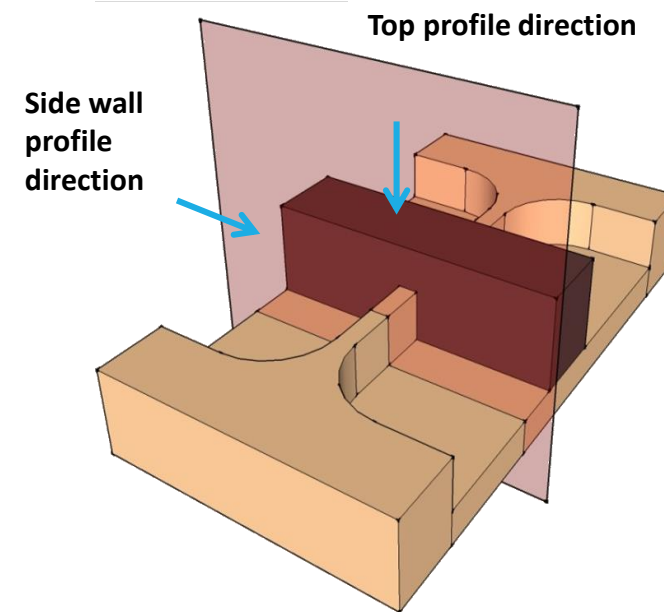
SRPD As doping + Spike Annealing @ 1050 °C



Comparison of Fin top (Vertical) dopant profiles (S/D region) for anneal and Non-anneal cases with simulations.



Lateral in-diffusion dopant profiles, TCAD vs Atom Probe

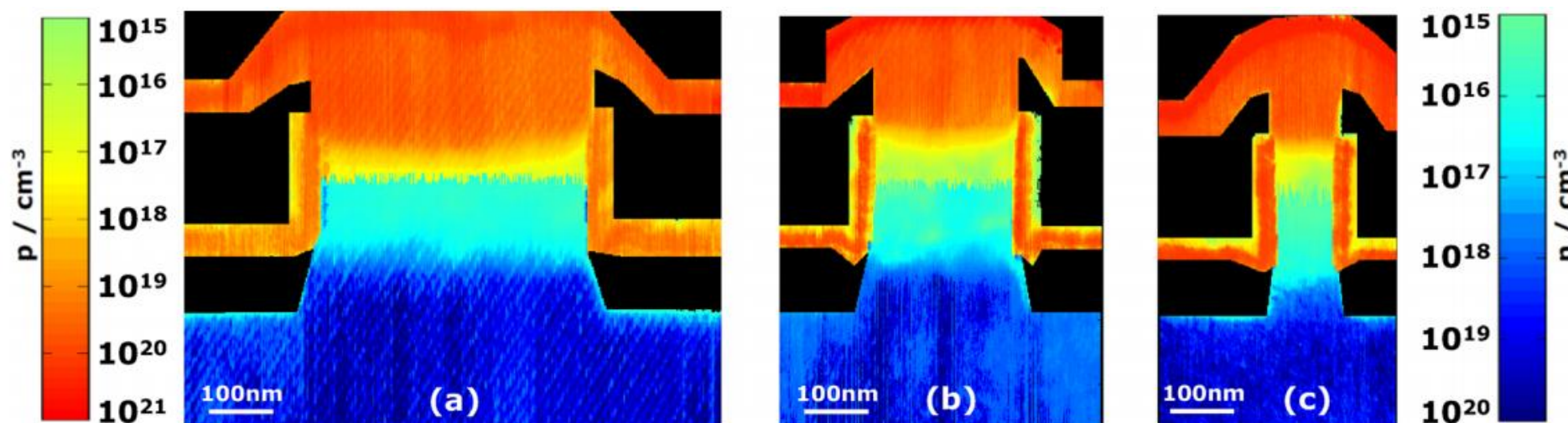


A. Kambham, A. Florakis et al. / Nanotechnology (2013)

Process modeling:

Application: Tunnel FETs (TFETs)

Motivation: SSRM measurements revealed Boron diffusion dependence on TFET-width

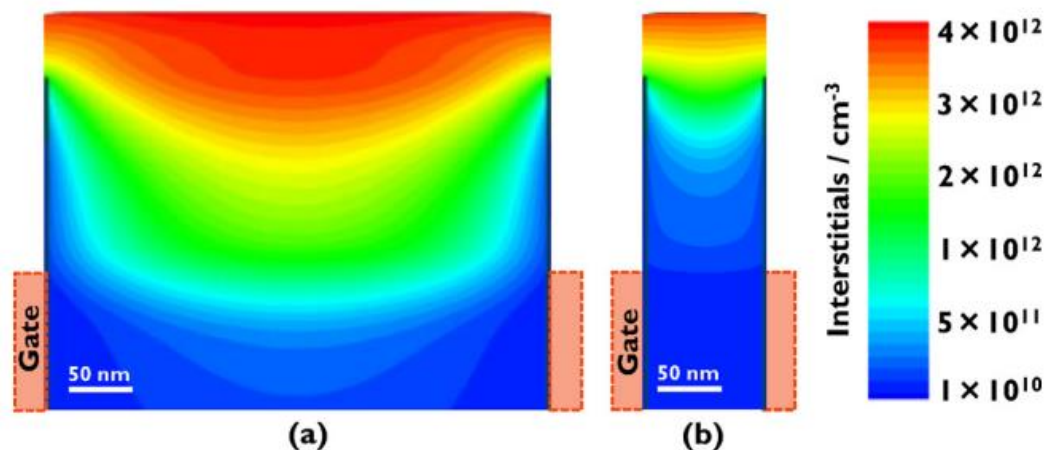
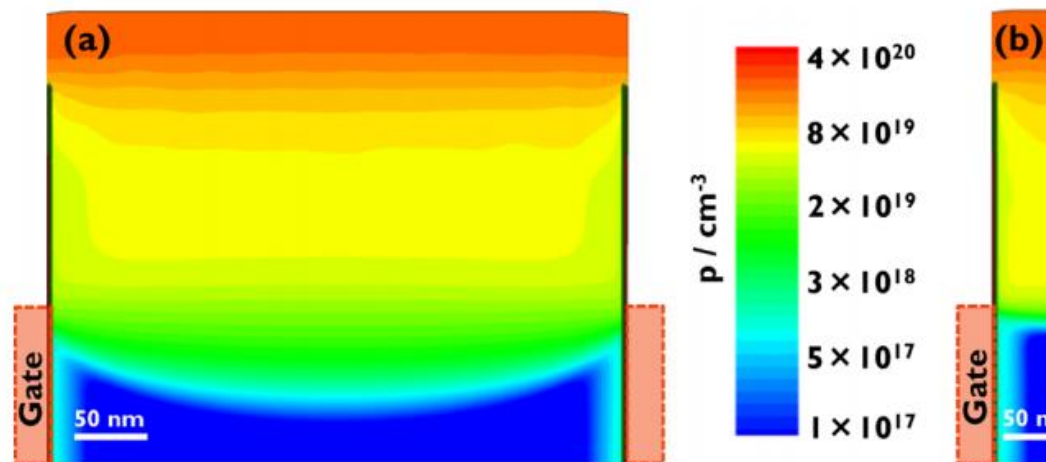


Effort to correlate this anomalous diffusion behavior to interstitial (I) annihilation due to different surface proximity
Process modeling: Validation and explanation

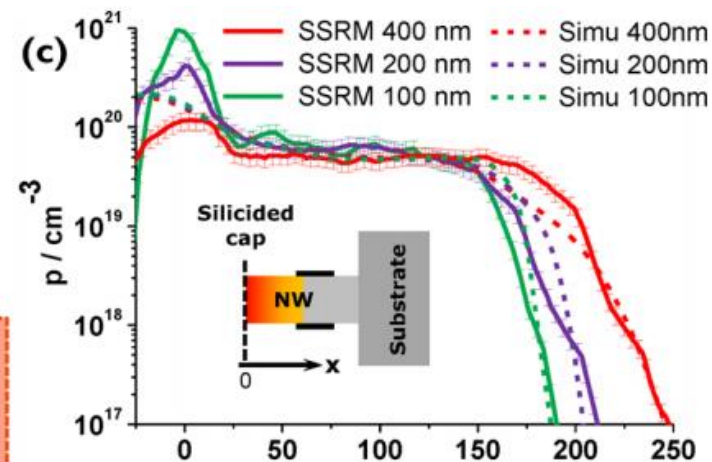
A. Schulze, A. Florakis et al. / Appl. Phys. Lett. (2013)

Process modeling:

Application: Tunnel FETs (TFETs)



Interstitials concentration



- Smaller diameter: higher surface to volume ratio: more effective I annihilation
- TED B diffusion is I mediated. Less I, less diffusion (as shown by SSRM)
- Successful interpretation of the phenomenon

Schulze, Florakis et al. Appl. Phys. Lett. 102, 052108 (2013)



Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!