

**МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 2012, Россия  
Технический Университет Вены, Вена 2012, Австрия**

**Кафедра «Проектирование и технологии  
производства электронной аппаратуры» (ИУ4)  
в сотрудничестве с Институтом Сенсоров и  
Исполнительных Систем (ISAS)**

**Технология создания тонкопленочной  
солнечной, батареи с высоким КПД на  
базе многослойной полупроводниковой  
структуры, содержащей медь, индий,  
галлий и селен**

**Студент:**

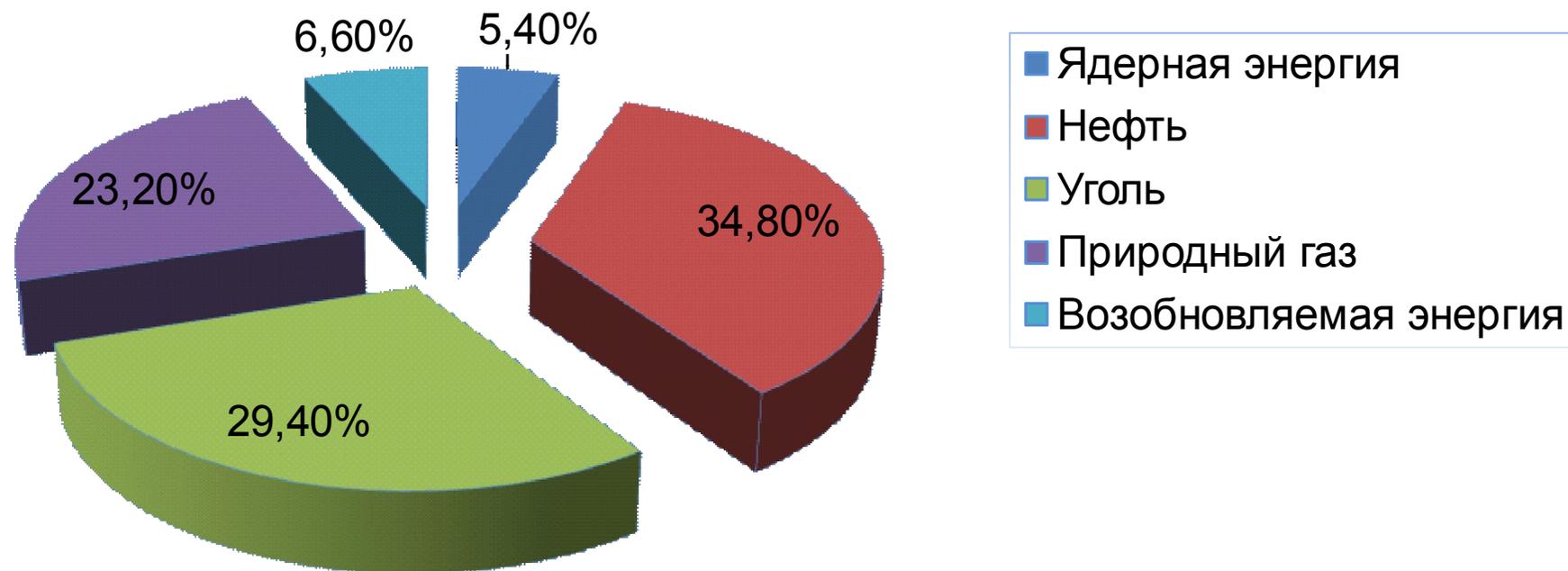
Гарифулина М.Р.

**Руководитель:**

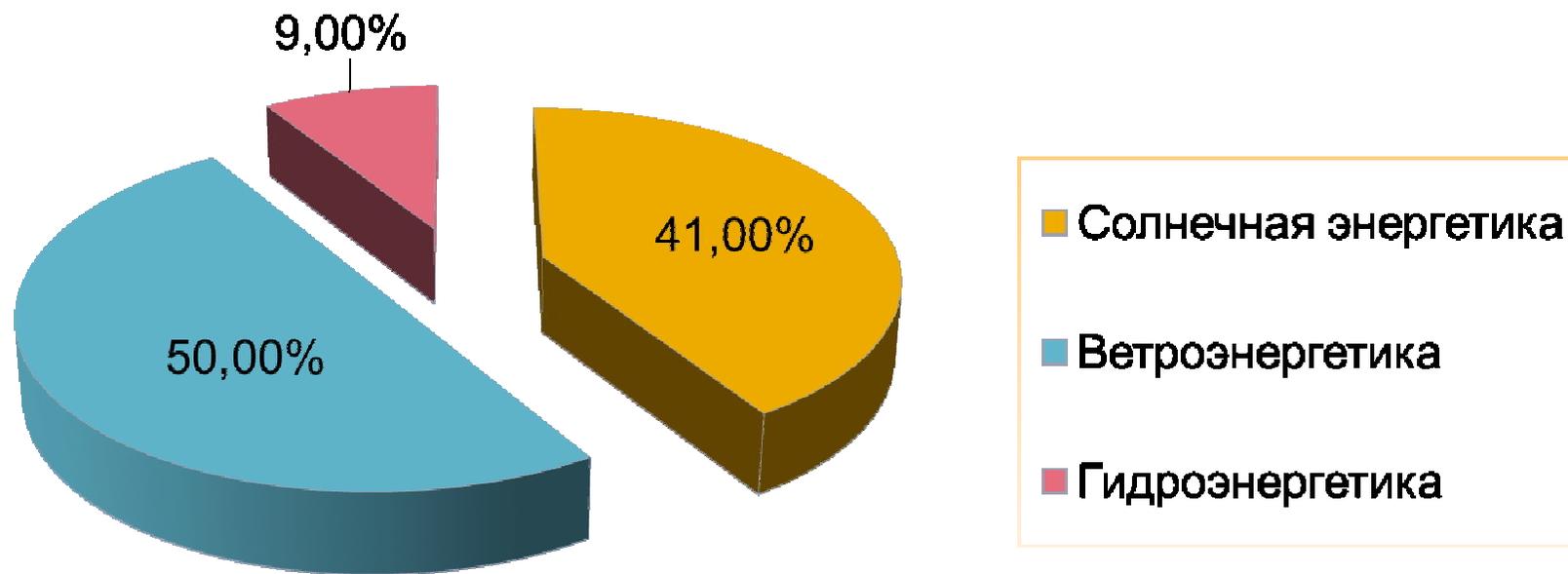
к.т.н. доцент Макарчук В.В.(ИУ4), доктор Н. Адамовик (ISAS)

Гарифулина М.Р./ «Технология создания тонкопленочной солнечной, батареи с высоким КПД на базе многослойной полупроводниковой структуры, содержащей медь, индий, галлий и селен»

## Основные источники энергии



## Прогнозируемое распределение источников чистой энергии к 2030 году



# Преимущества и недостатки существующих солнечных батарей

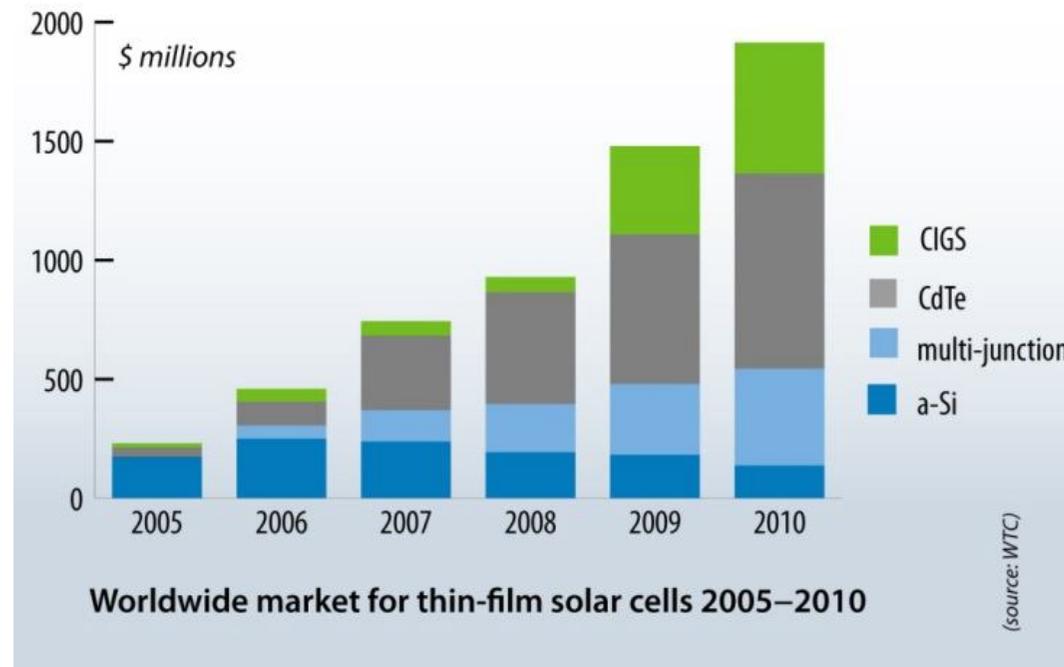
## Преимущества:

- ❖ Использование энергии Солнца
- ❖ Отсутствие выбросов вредных веществ

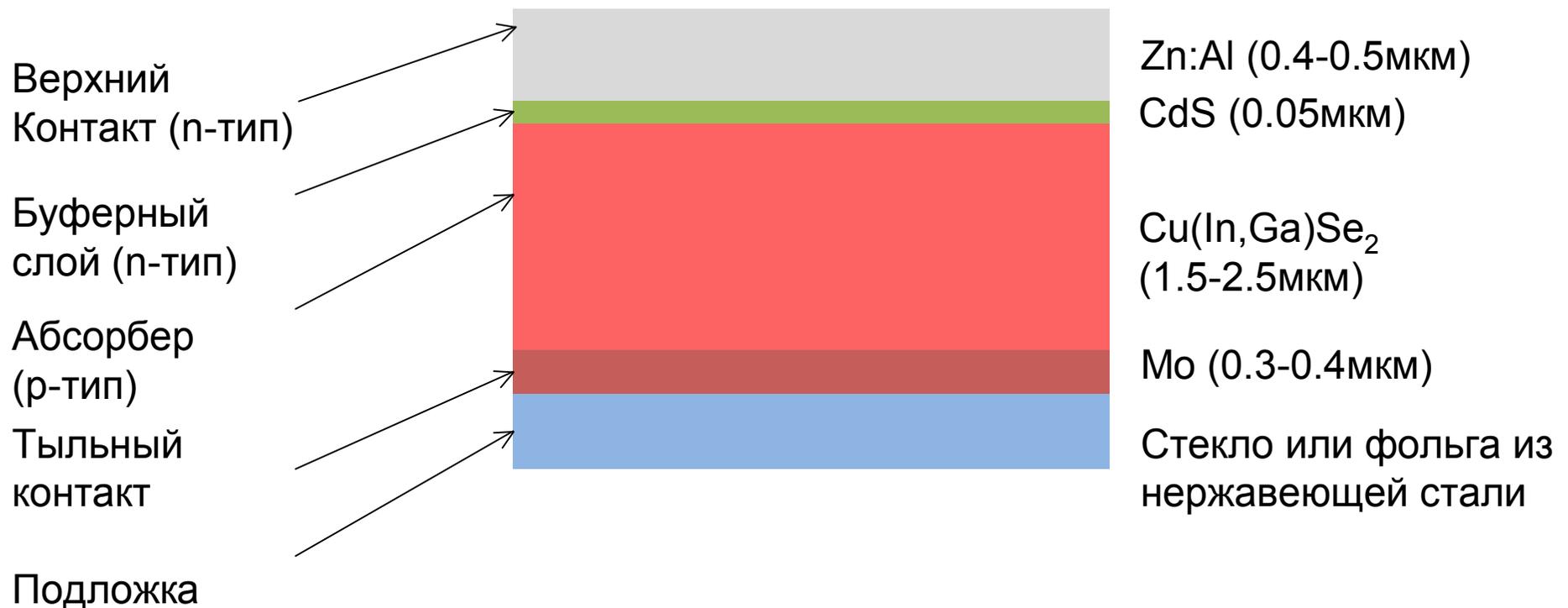
## Недостатки:

- ❖ Относительно низкий КПД
- ❖ Недостаточно большой срок службы
- ❖ Высокая стоимость

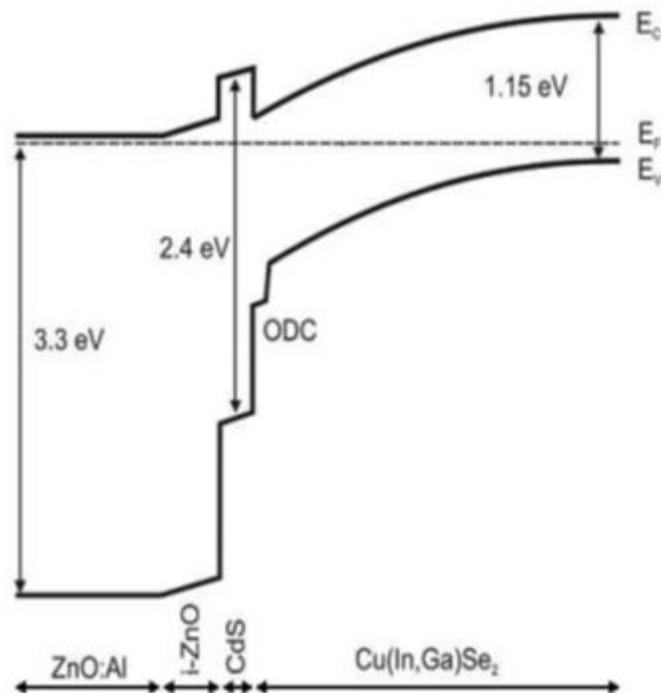
# Развитие мирового рынка тонкопленочных солнечных в период батарей 2005 – 2010 гг.



## Структура солнечного элемента CIGS



# Структура солнечного элемента CIGS

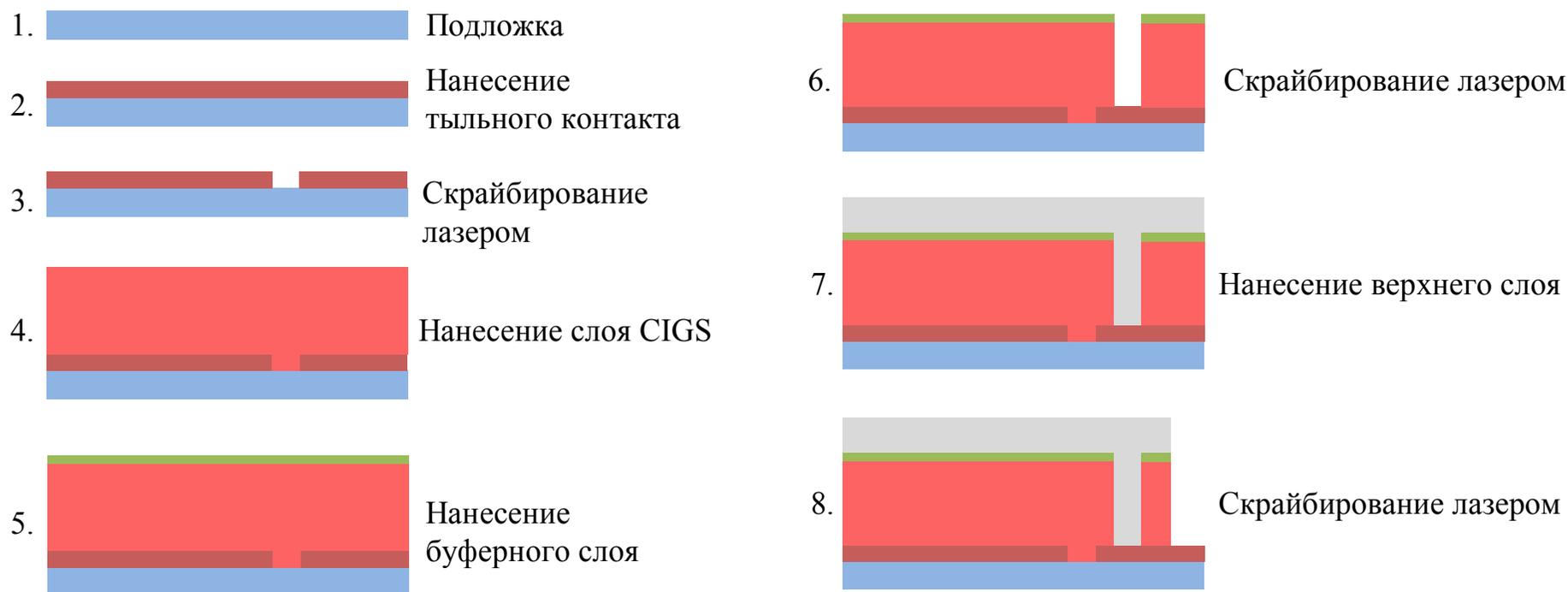


Zn:Al (0.4-0.5μм)  
CdS (0.05μм)

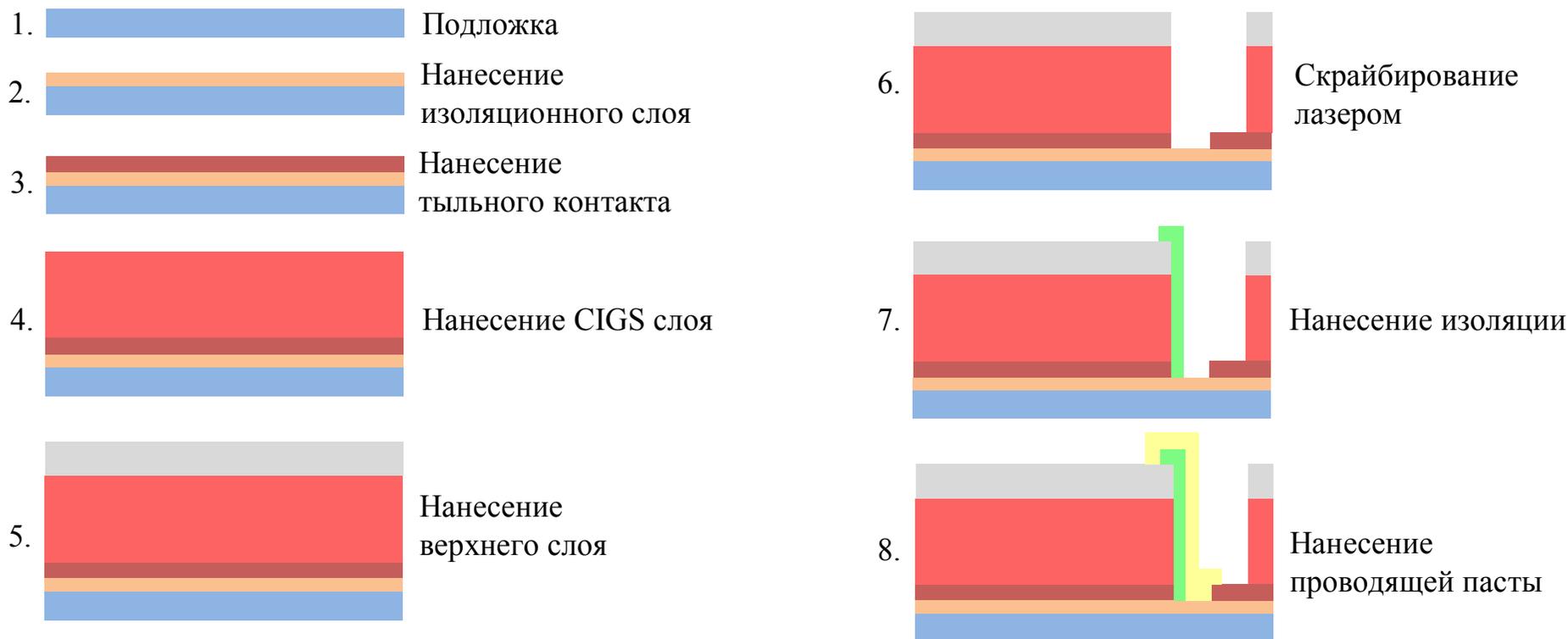
Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>  
(1.5-2.5μм)

Mo (0.3-0.4μм)  
Стекло или фольга из  
нержавеющей стали

# Типовая технология создания солнечной батареи типа CIGS

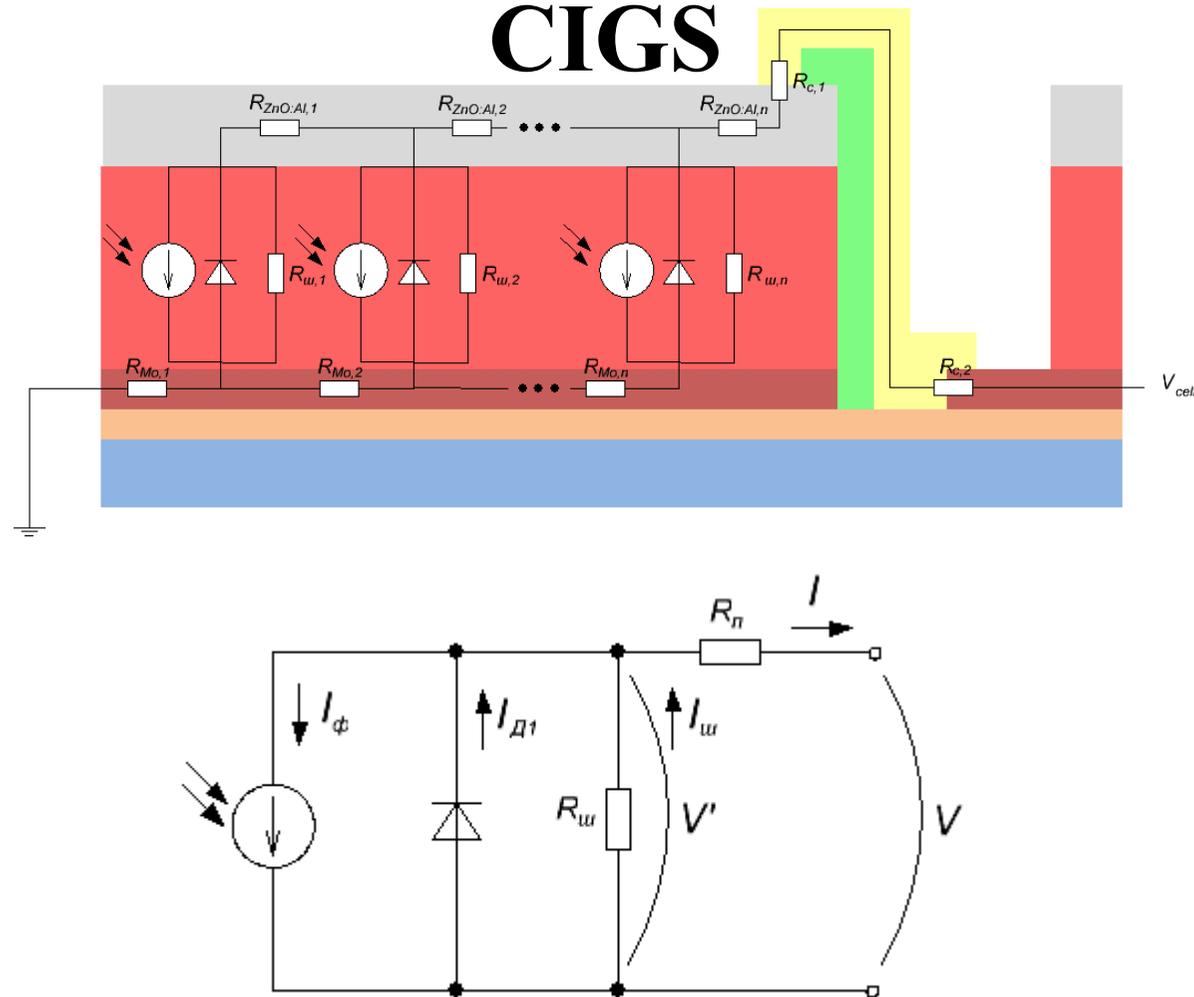


# Усовершенствованная технология создания солнечной батареи типа CIGS



# Модель элемента солнечной батареи типа

## CIGS



# Математическое описание элемента солнечной батареи типа CIGS

$$I = I_{\text{д}} + I_{\text{ш}} - I_{\text{ф}}$$

$$V' = V - IR_{\text{п}}$$

$$I_{\text{д}} = I_0(e^{qV'/AkT} - 1)$$

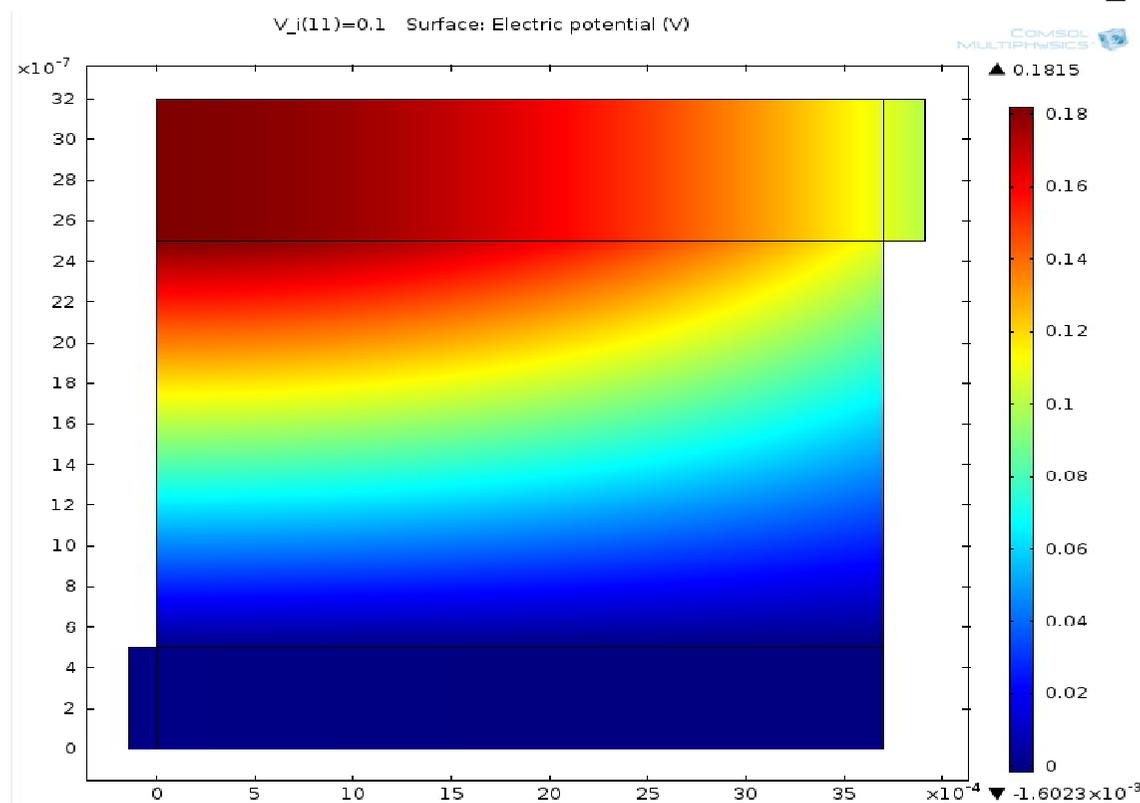
$$I_{\text{д}} = I_0(e^{qV'/AkT} - 1) = I_0(e^{q(V-IR_{\text{п}})/AkT} - 1)$$

$$I_{\text{ш}} = \frac{V'}{R_{\text{ш}}} = \frac{V - IR_{\text{п}}}{R_{\text{ш}}}$$

$$I = I_0(e^{q(V-IR_{\text{п}})/AkT} - 1) + \frac{V - IR_{\text{п}}}{R_{\text{ш}}} - I_{\text{ф}}$$

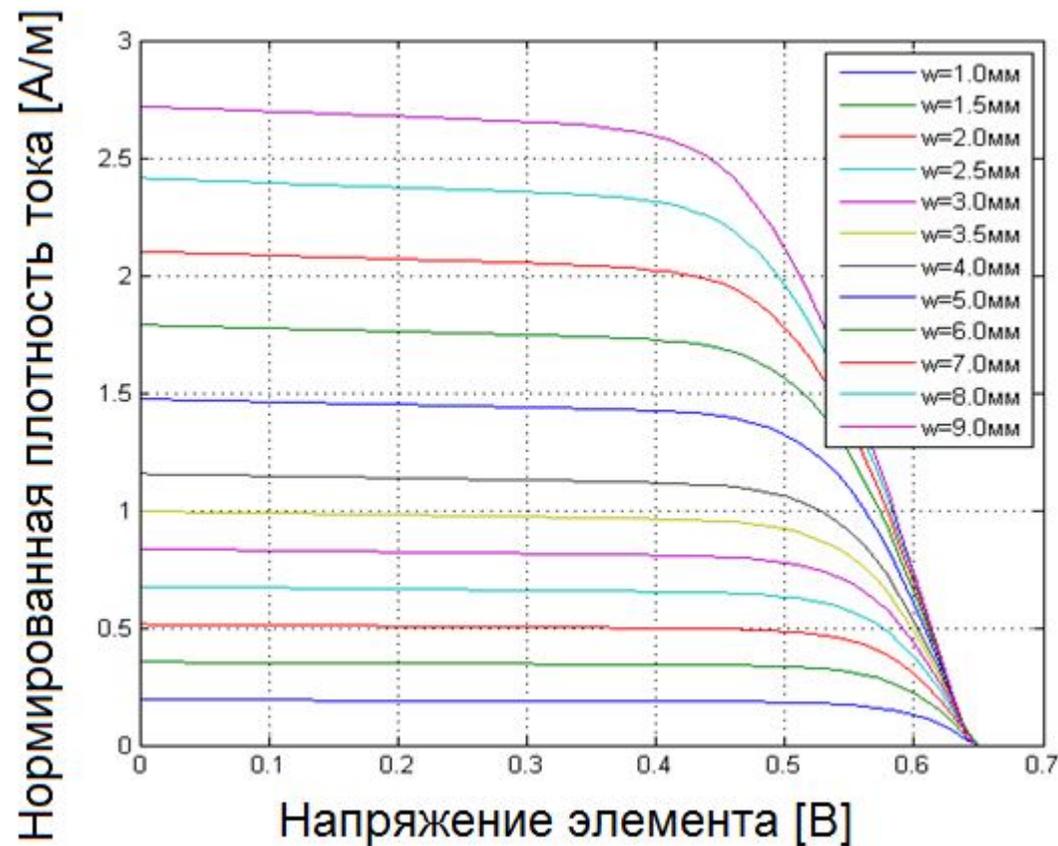
## 2D моделирование распределения потенциала в элементе солнечной батареи типа CIGS с помощью программного пакета COMSOL Multiphysics

Толщина  
элемента  
солнечной  
батареи



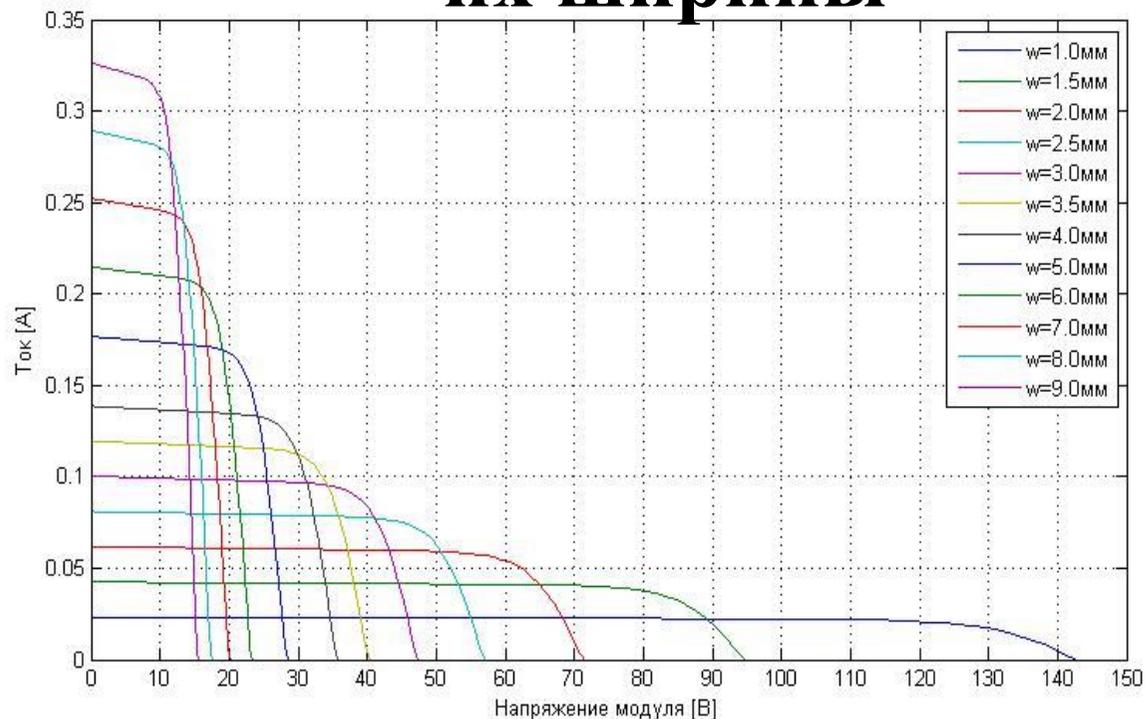
Ширина элемента солнечной батареи

## Зависимость нормированной плотности тока от напряжения элемента солнечной батареи при



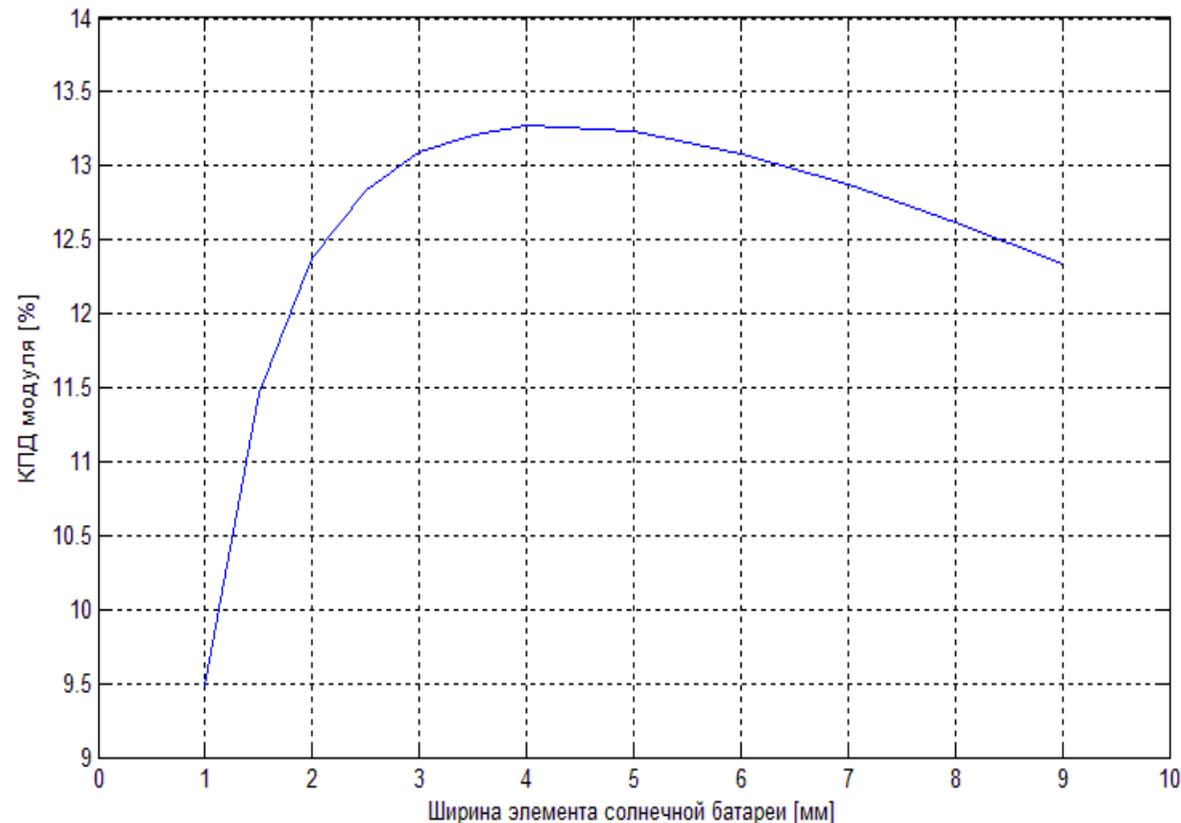
Расчеты получены с помощью программного комплекса Matlab

# Семейство вольт-амперных характеристик солнечных батарей, построенных из элементов типа CIGS, в зависимости от числа элементов и их ширины



Расчеты получены  
с помощью  
программного  
комплекса Matlab

# Зависимость КПД солнечной батареи типа CIGS от ширины ее элемента (MATLAB)



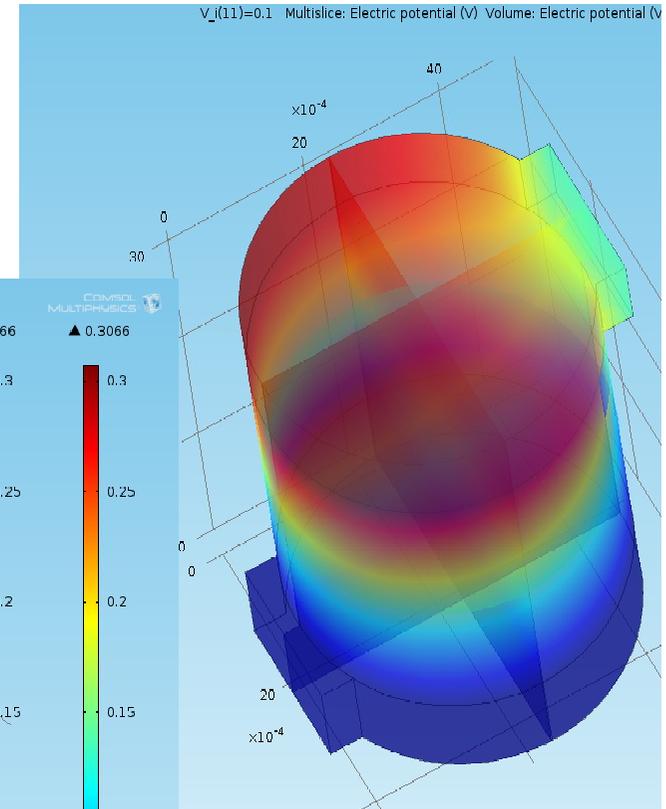
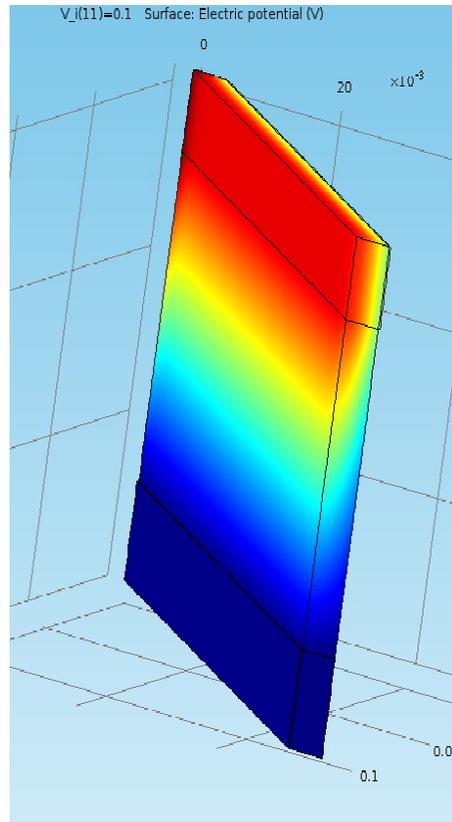
Расчеты  
получены  
с помощью  
программног  
о  
комплекса  
Matlab

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 2012, Россия  
Технический Университет Вены, Вена 2012, Австрия

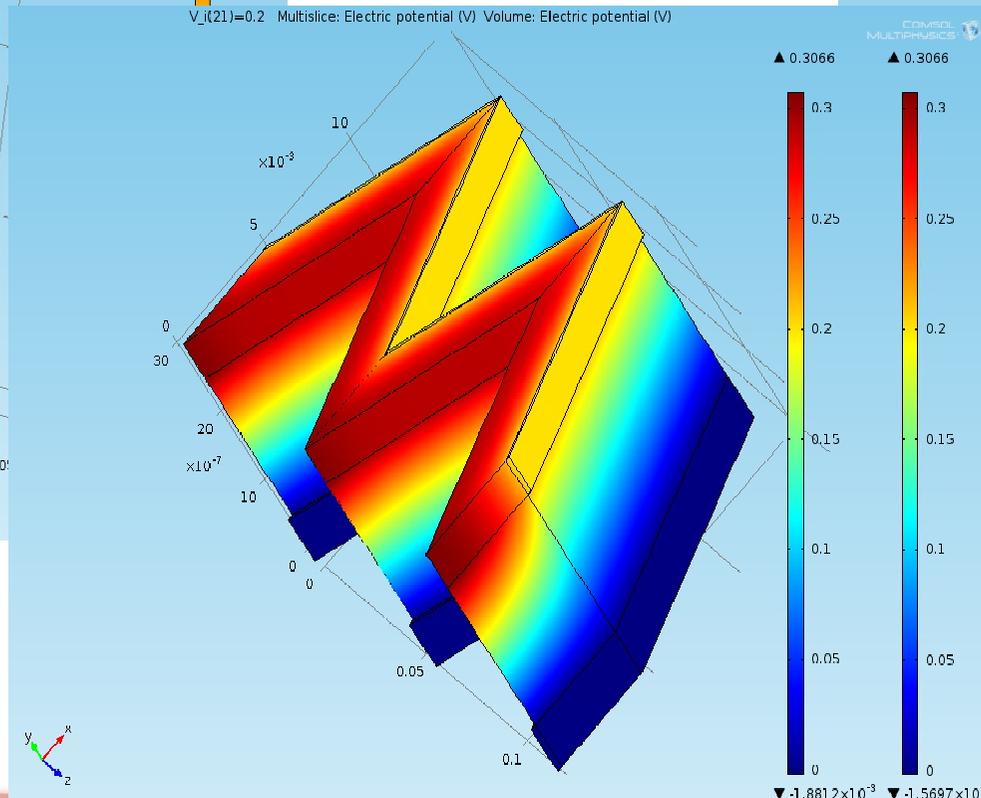
# 3D моделирование в COMSOL

## Multiphysics

„Зигзаг“,  
 $\eta=13,24\%$



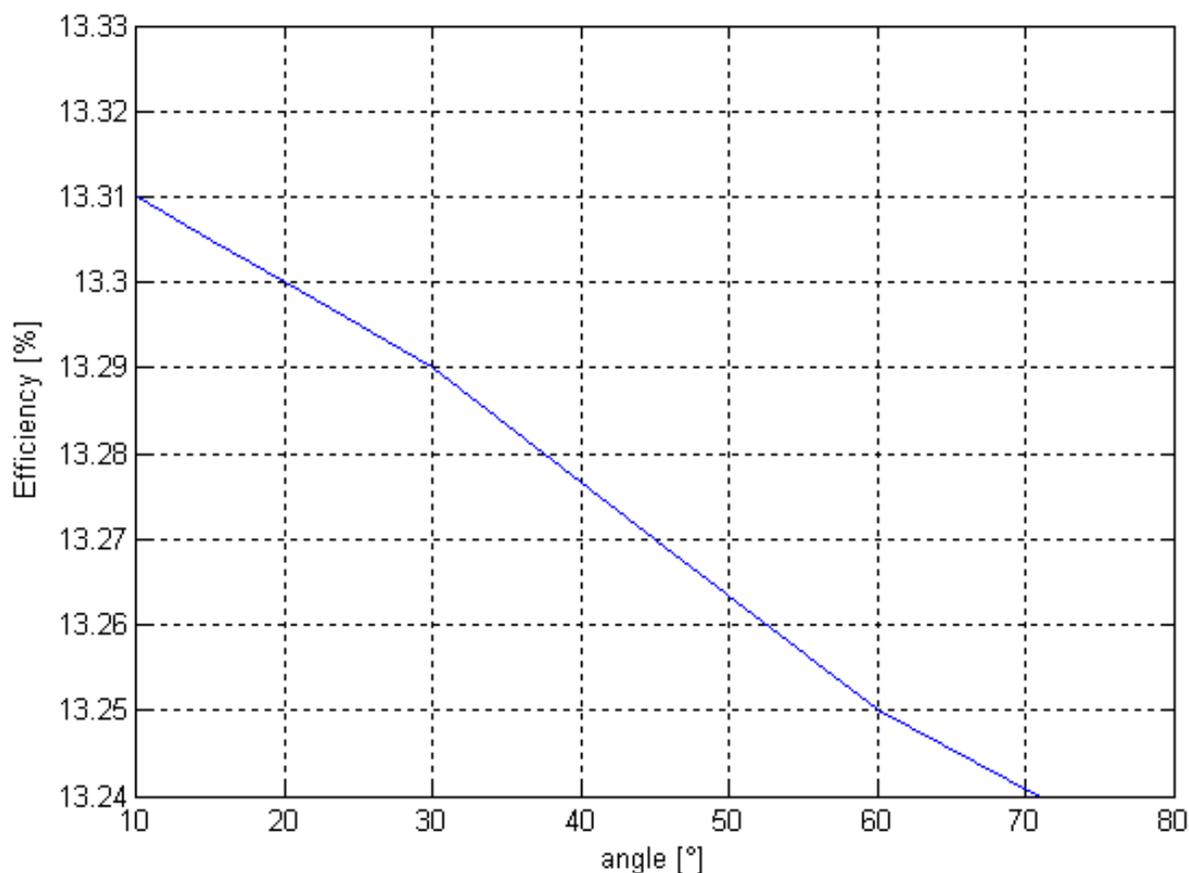
„Параллелепипед“,  
 $\eta=13,25\%$



„Круг“,  
 $\eta=9,57\%$

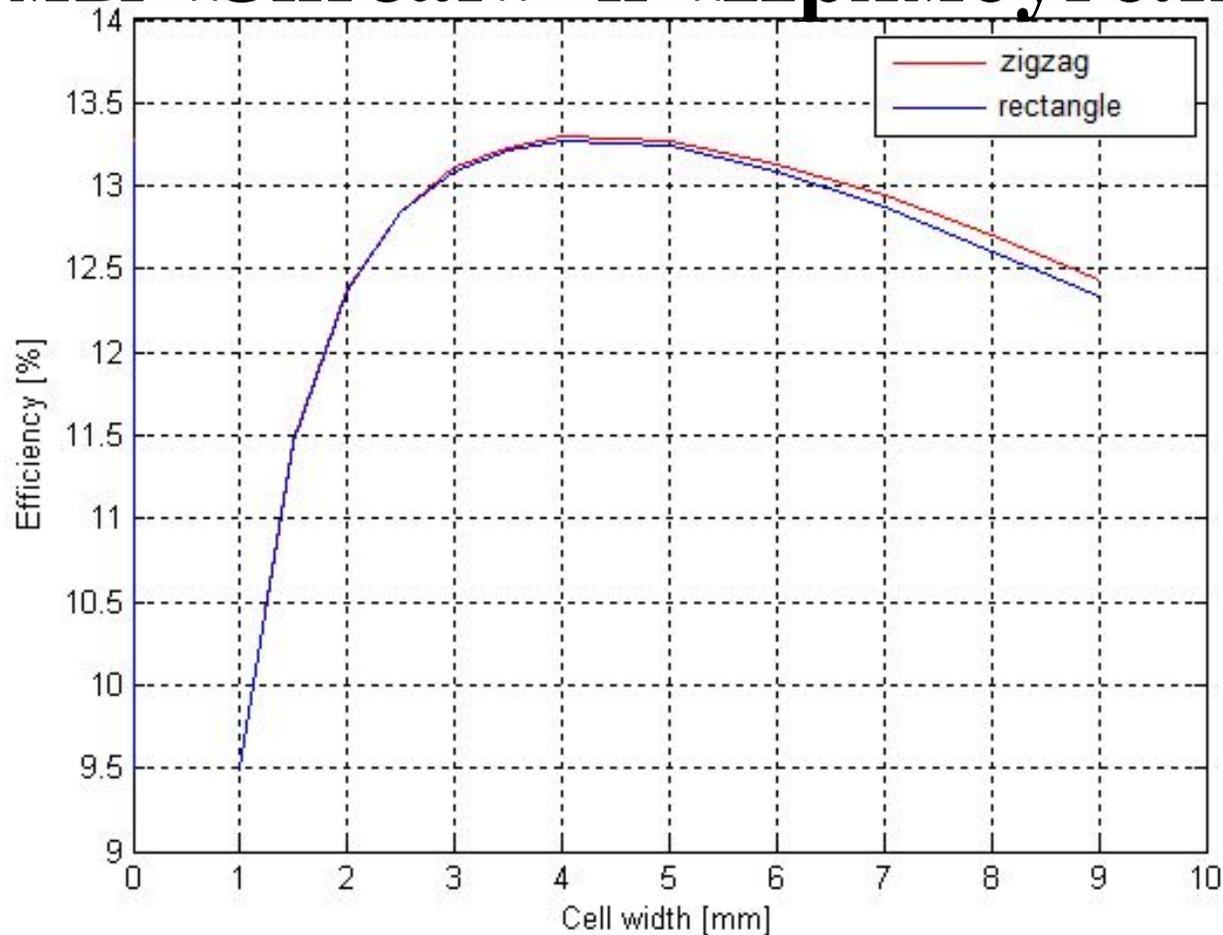
Гарифулина М.Р./ «Технология создания тонкопленочной солнечной, батареи с высоким КПД на базе многослойной полупроводниковой структуры, содержащей медь, индий, галлий и селен»

## Зависимость КПД солнечной батареи типа CIGS формы «Зигзаг» от угла наклона зигзага



Расчеты получены  
с помощью  
программного  
комплекса Matlab

# Зависимость КПД солнечных батарей формы «Зигзаг» и «Прямоугольник»



Расчеты  
получены  
с помощью  
программного  
комплекса  
Matlab

## Выводы

- Проведен сравнительный анализ типового и усовершенствованного технологического процесса изготовления тонкопленочных солнечных батарей на новом тройном полупроводниковом материале  $\text{Cu(In,Ga)Se}$
- Рассмотрена электрическая модель батареи типа CIGS на основе «модели одного диода»
- Проведено в программном пакете COMSOL Multiphysics моделирование распределения потенциала в элементе солнечной батареи типа CIGS (Для формы «Прямоугольник», «Параллелепипед», «Зигзаг», «Круг»)
- На основе данных распределения получены вольт-амперные характеристики для дальнейшего расчета КПД солнечной батареи
- Определены параметры солнечной батареи, при которых достигнута максимальный КПД (Ширина элемента 4 мм, форма элемента зигзаг)

## Апробация

- Гарифулина М.Р., Власов А.И., Макарчук В.В., Адамовик Н. «Модель элемента солнечной батареи типа CIGS», ВАК, Москва, 2012 г.
- Гарифулина М.Р., Власов А.И. «Солнечные батареи типа CIGS»// Вторая Всероссийская школа-семинар студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению «Наноинженерия» – Сборник научных трудов. Москва. 2011 г.
- Гарифулина М.Р., Макарчук В.В. «Производство солнечных элементов типа CIGS», XIV Молодежная международная научно-техническая конференция учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых «наукоемкие технологии и интеллектуальные системы - 2012» (Technology and systems - 2012), МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Апрель 2012 г.
- Гарифулина М.Р., Адамовик Н. «Modeling of CIGS thin film CISG solar module», Вена, Австрия, май, 2012.

**МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 2012, Россия**  
**Технический Университет Вены, Вена 2012, Австрия**



**Спасибо за внимание!**



Гарифулина М.Р./ «Технология создания тонкопленочной солнечной, батареи с высоким КПД на базе многослойной полупроводниковой структуры, содержащей медь, индий, галлий и селен»