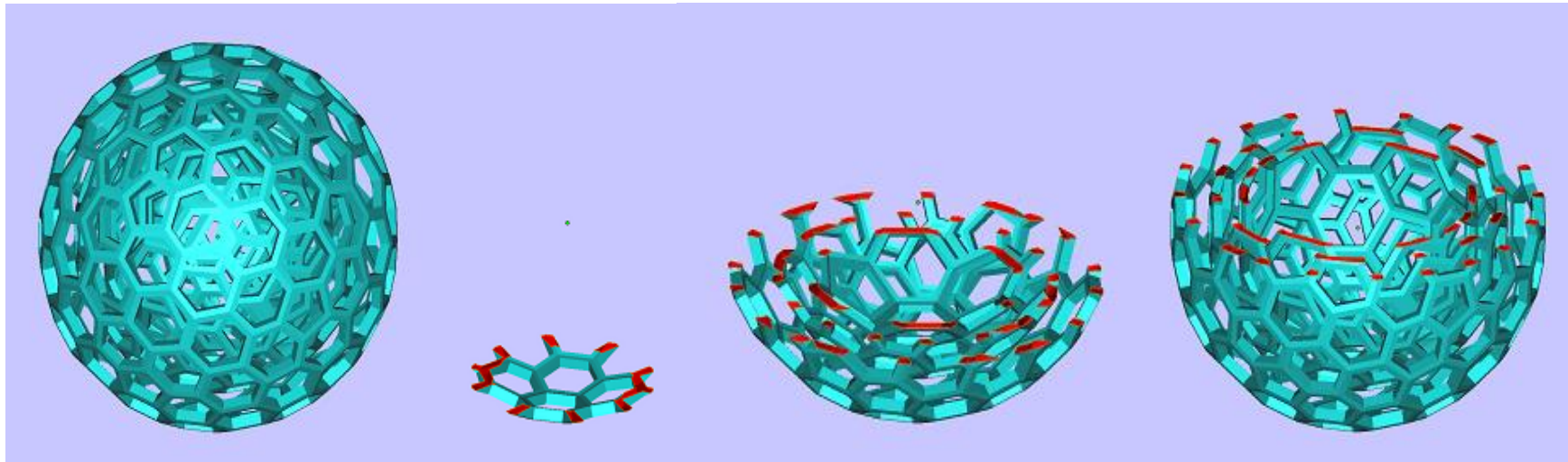
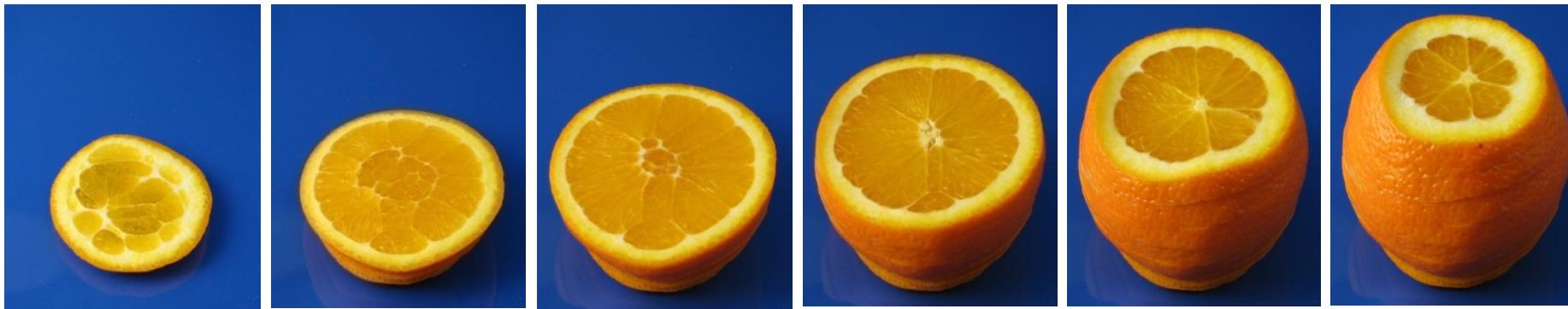


**Лекция 3.**  
**3Д прототипирование**  
**металлических скэффолдов для**  
**использования в**  
**регенеративной медицине**

# Аддитивная печать

Слой за слоем

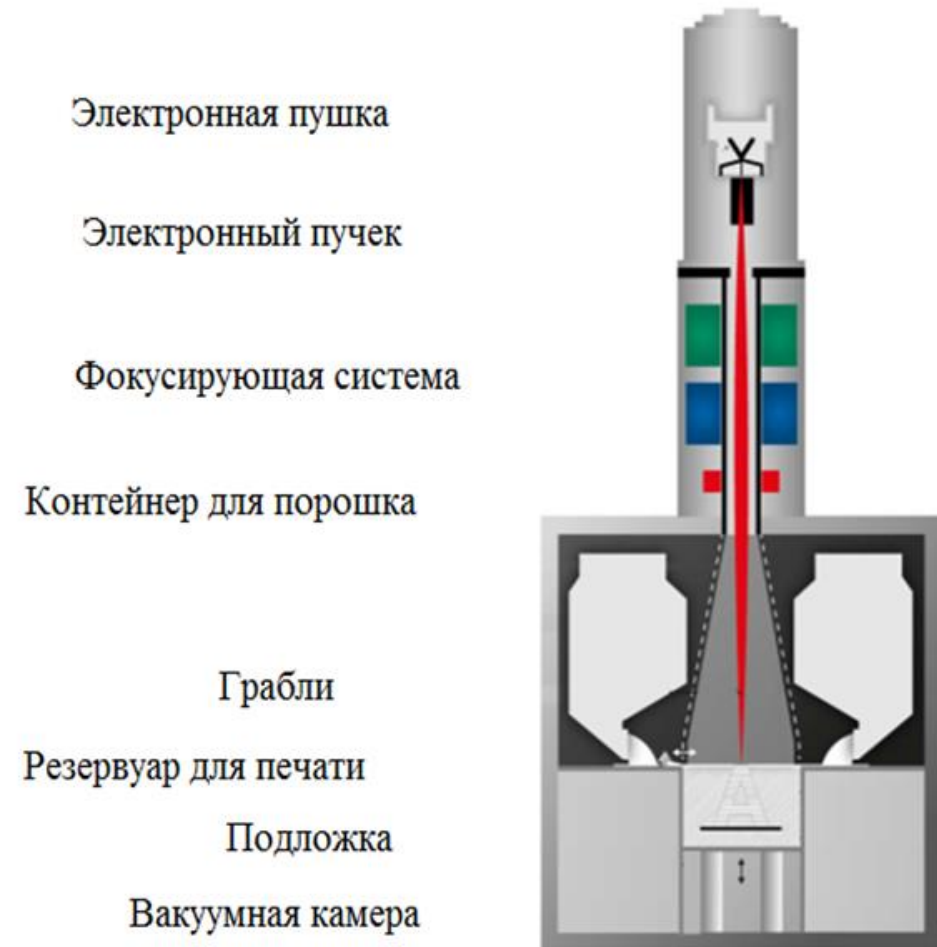


# Электронно-лучевое плавление (EBM)

$T_{\text{нагрева}}$	$10^6 \text{ } ^\circ\text{K/сек}$
$T_{\text{остывания}}$	$10^5 \text{ } ^\circ\text{K/сек}$
Время нагрева	30 мин
Время остывания	5-6 часов
$T_{\text{нагретого образца}}$	730-750 $^\circ\text{C}$
$d_{\text{пучка}}$	0,1-0,15 мм
Melt pool	$\{x;y;z\}=\{0,25;0,25;0,25\}$
Глубина проникновения (проплавления) пучка	$\sim 50 \text{ мкм}$
Градиенты температур	$\sim 10^3$
Вакуум	$10^{-2} - 10^{-3} \text{ мБар}$
Диаметр порошка	10-100 мкм
Энергия пучка	3422 $^\circ\text{C}$



Промышленная установка A2  
EBM<sup>®</sup> machine by ARCAM AB

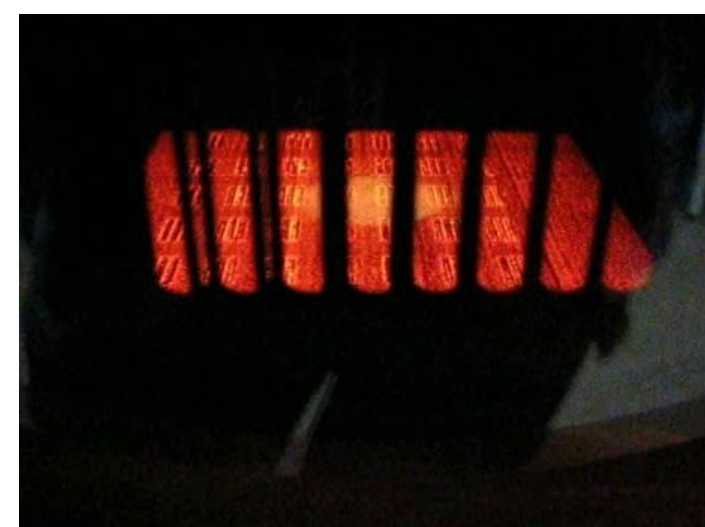
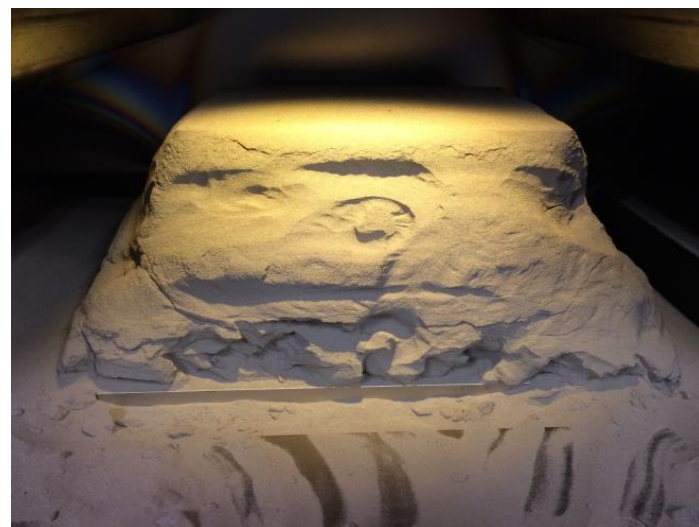
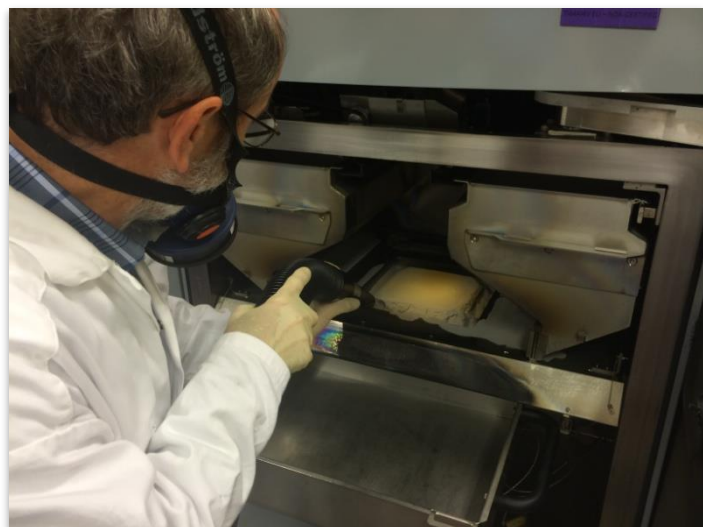


Толщина слоя: 50, 70 мкм

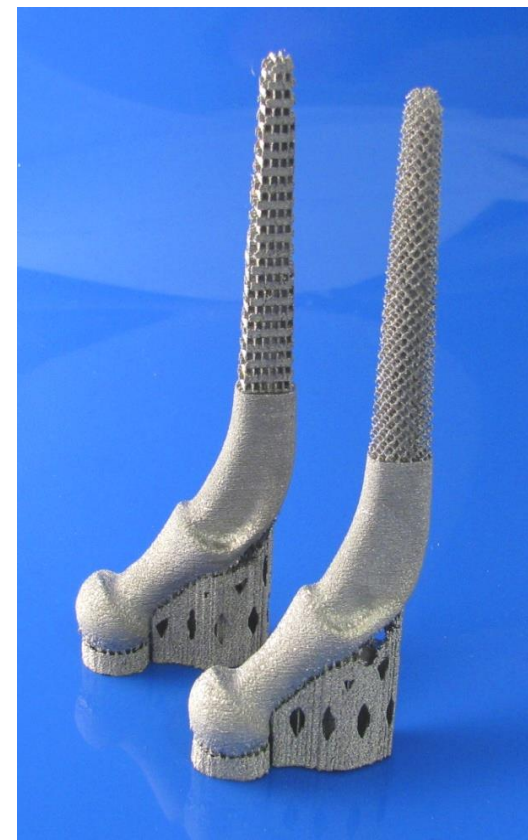
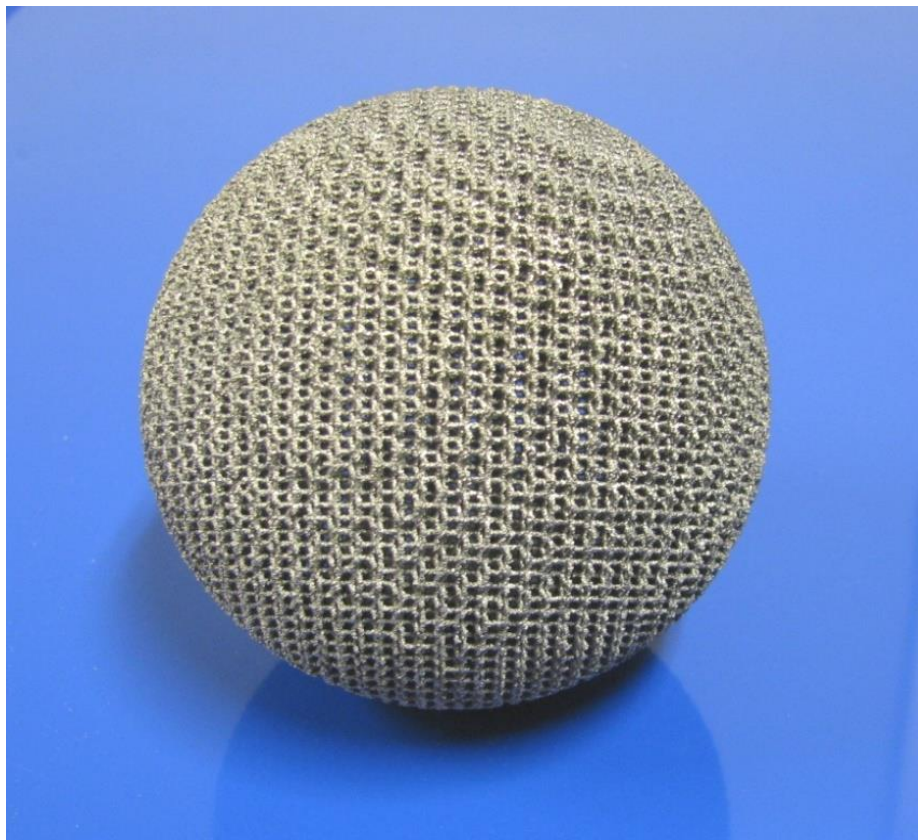
# Процесс аддитивной печати по методу EBM



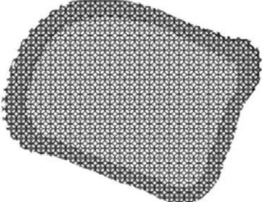
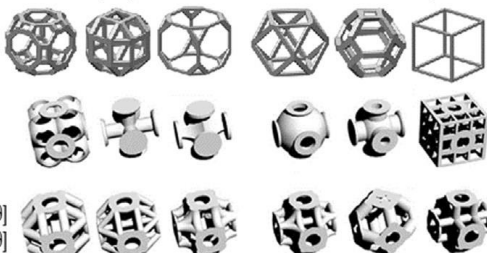
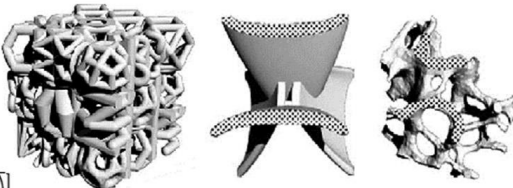

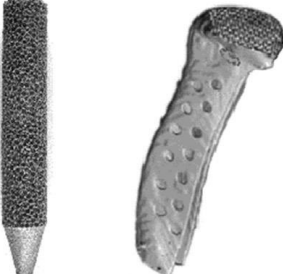
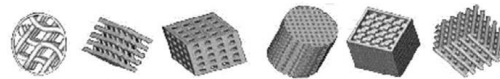
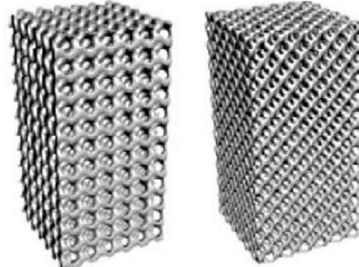
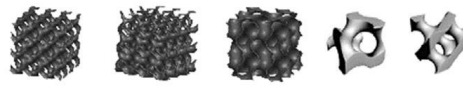
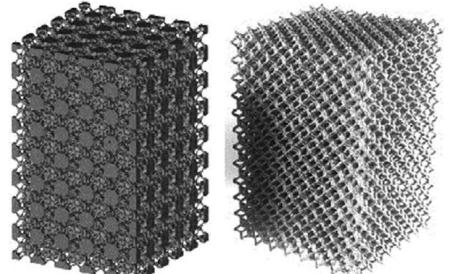

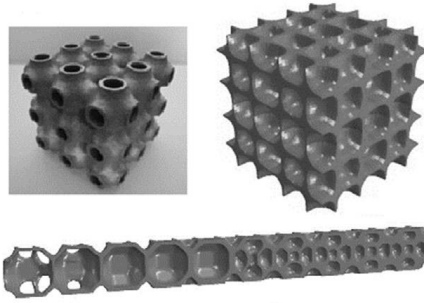
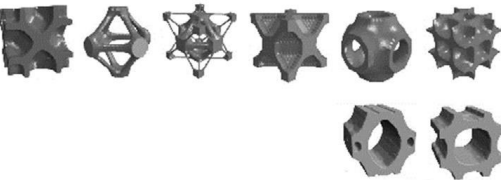
# Возможности печати с использованием метода EBM



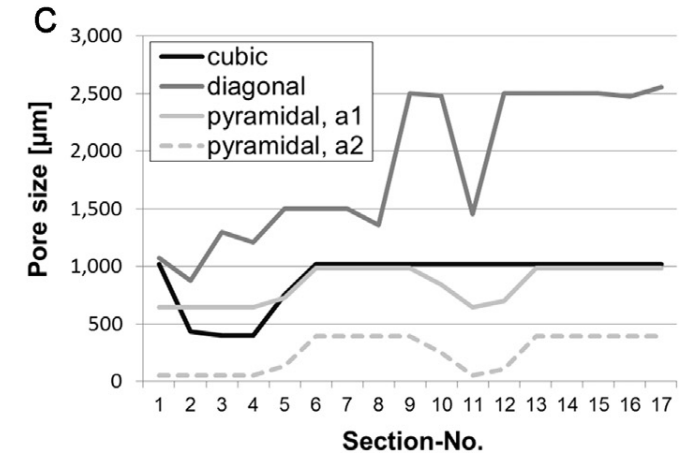
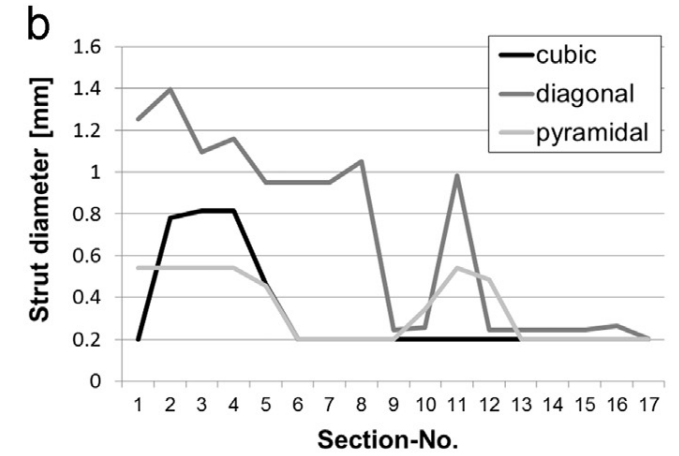
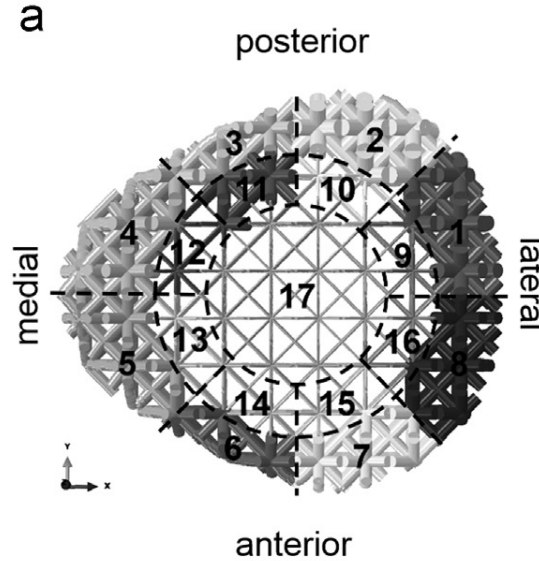
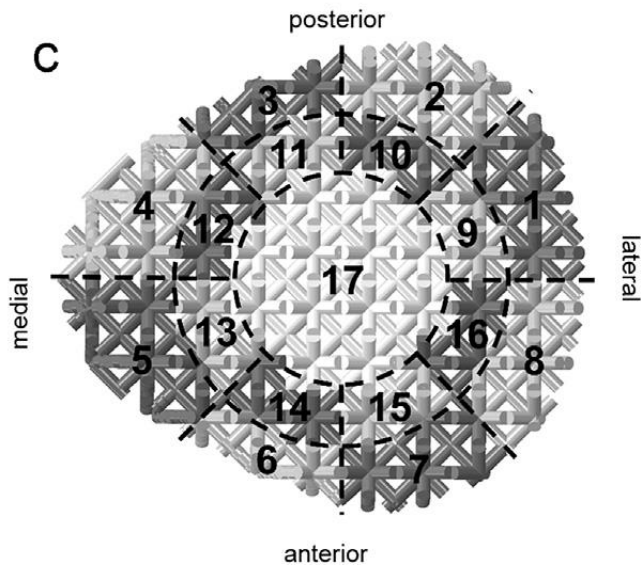
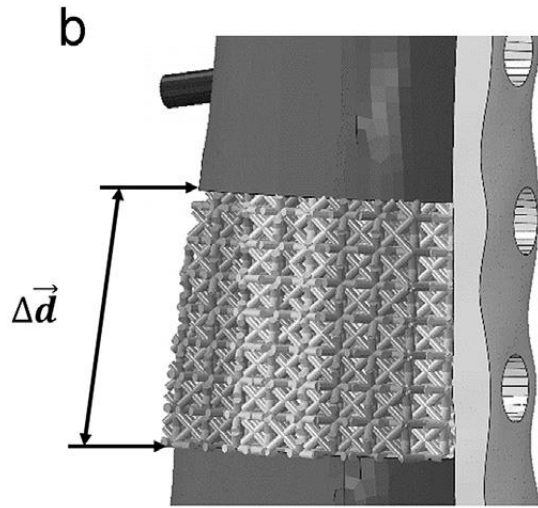
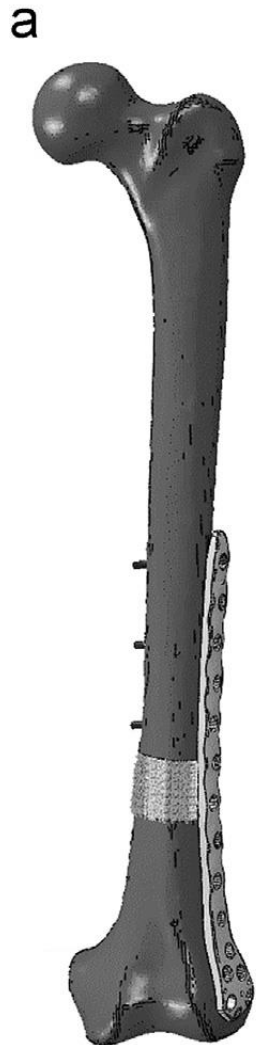
# Возможности 3Д печати



# Возможности 3D печати

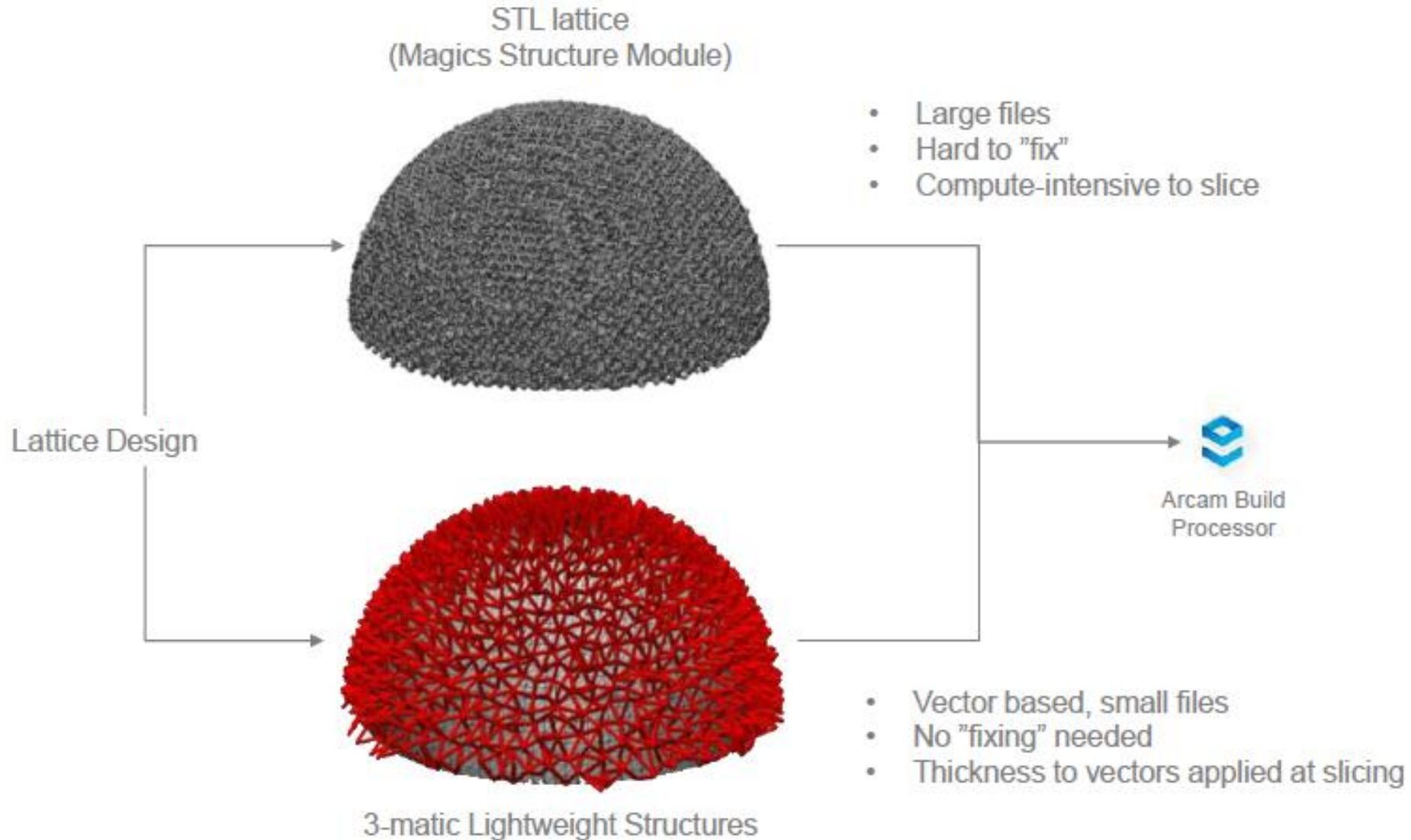
 <p>[64]</p>	<p>Library of Platonic and Archimedean polyhedra solids</p>  <p>[63] [64]</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">CAD-based design</p>	 <p>[11]</p>	 <p>[11]</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ngizeb baesd-egsmi</p>
 <p>[14] [14]</p>	<p>Bio-inspired design</p>  <p>[15]</p>		 <p>[88]</p>	 <p>[83] [88]</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">griibomw eaztjue tjiijpmi</p>
 <p>[14]</p>	<p>Other CAD software generated design</p>  <p>[14]</p>		 <p>[108] [107] [108]</p>	 <p>[101] [101] [108]</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">noizsimihp O ypoloqo T</p>

# Возможности 3Д печати





# Advanced Lattice Design

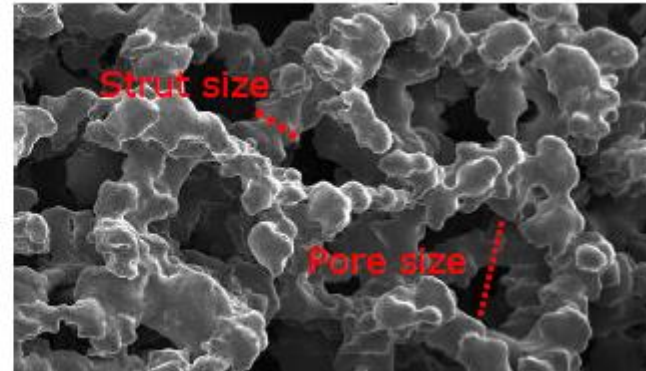
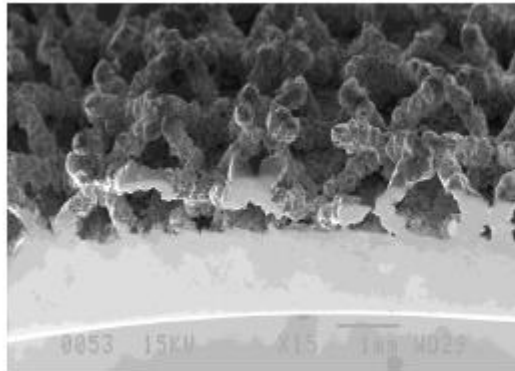
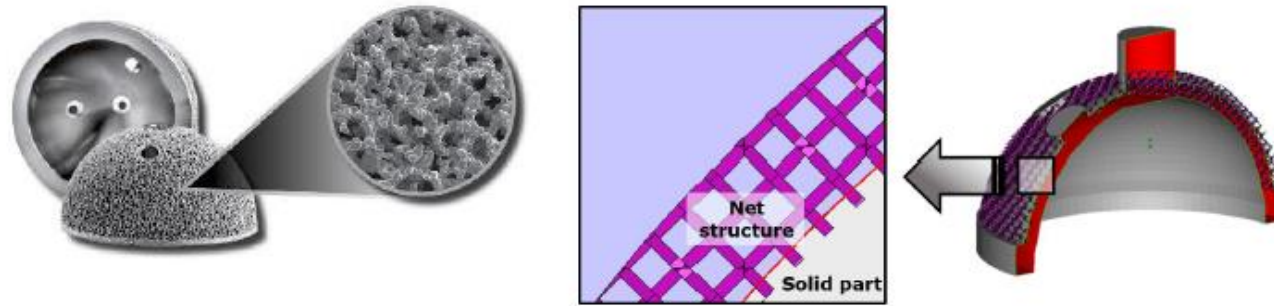


# Design and Verification of Net Structures for Orthopaedic Implants

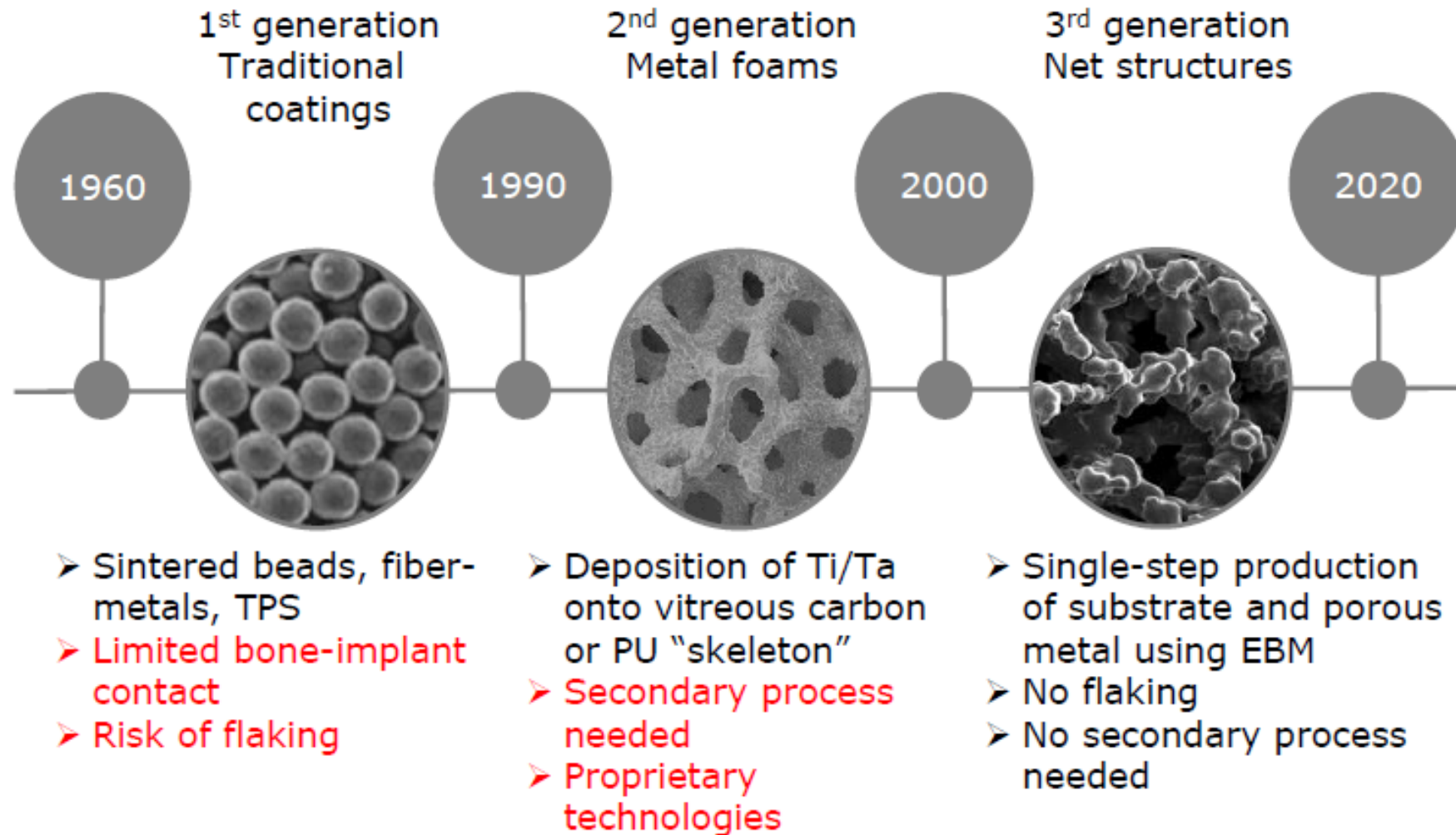
Oscar Hedin

Application Engineer

Arcam AB



# History of Porous Metals in Orthopaedic Implants



# AM Device Type



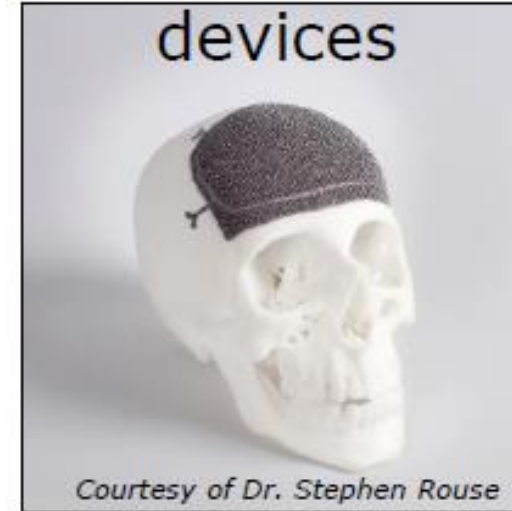
## Metallic coatings



*Courtesy of Adler Ortho S.r.l.*

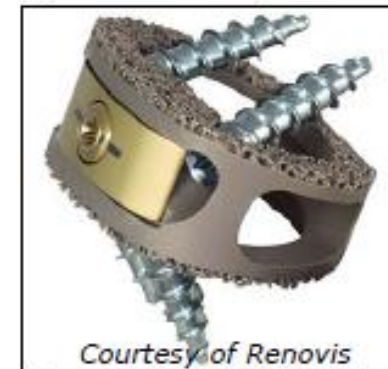


## Patient-matched devices

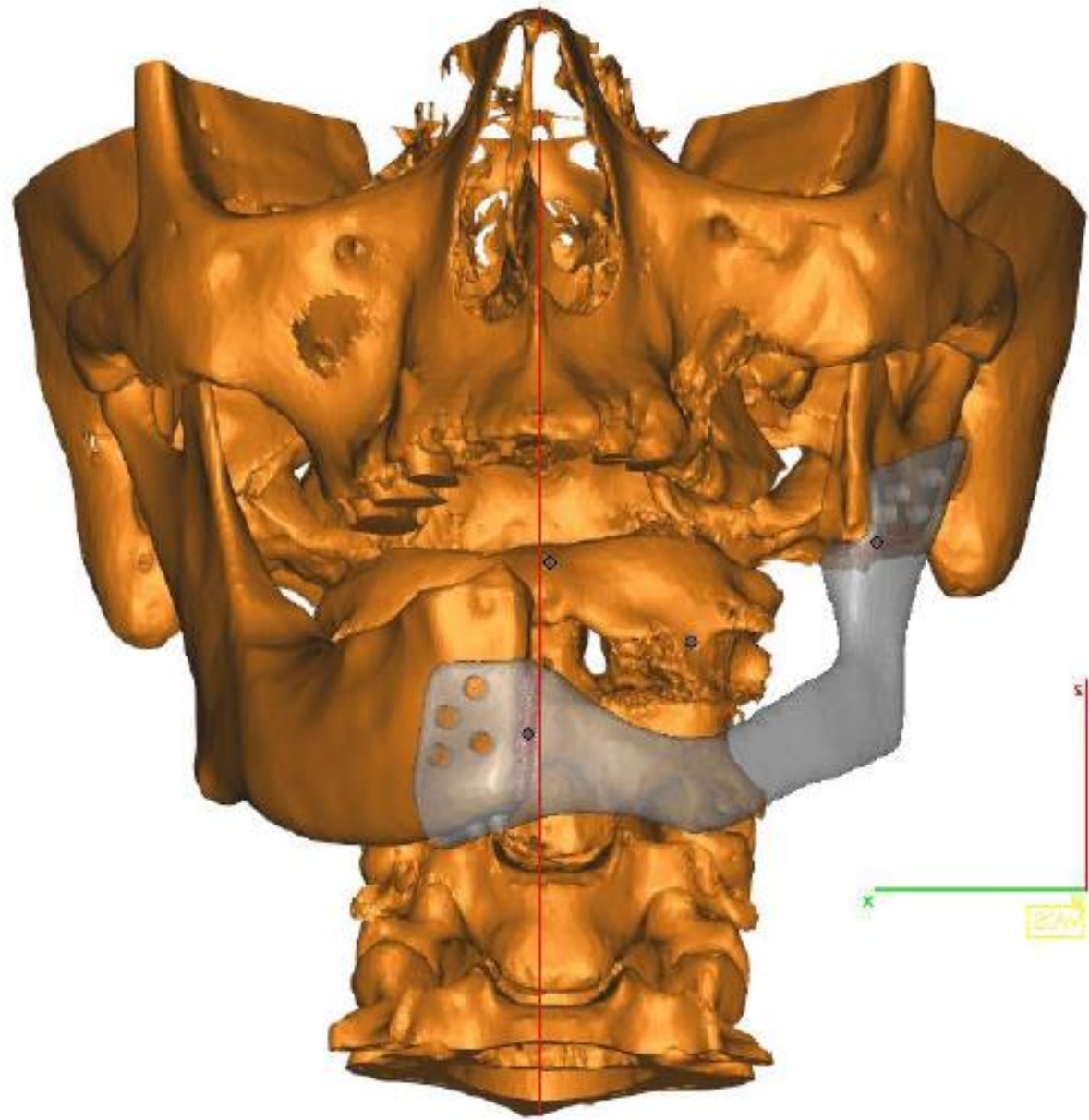


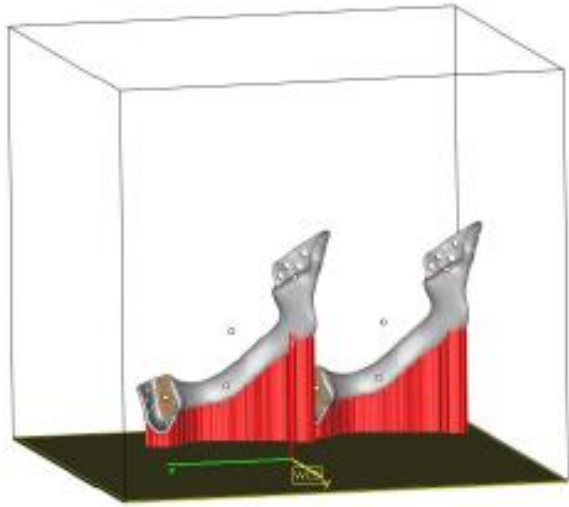
*Courtesy of Dr. Stephen Rouse*

## Spinal systems



*Courtesy of Renovis Surgical Technologies, Inc.*



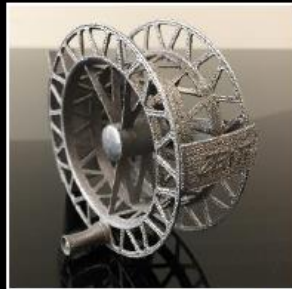


# Design for EBM Additive Manufacturing

Speaker: Trent Mainwaring

## Additive Complexity

★  
ZENITHTECNICA



© Zenith Tecnica 2016

# Design for EBM Additive Manufacturing

Speaker: Trent Mainwaring

## Complexity Examples



© Zenith Tecnica 2016


★  
ZENITHTECNICA





Z Height [mm]	Count
0-50	12
51-100	12
101-150	11
151-200	11
201-250	5
251-300	0
301-350	6
351-380	21

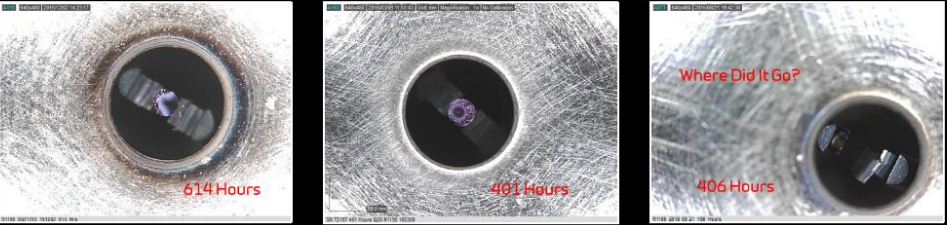
- Total Build Height - 14,874 mm
  - Average Build 190.69 mm
  - Max 382.54 mm
  - Min 20 mm



Example - 352 mm overall height + support

### Cathodes - 13/18 Months

ZENITHTECNICA

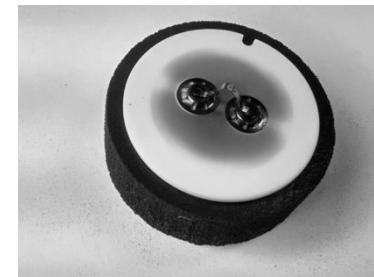
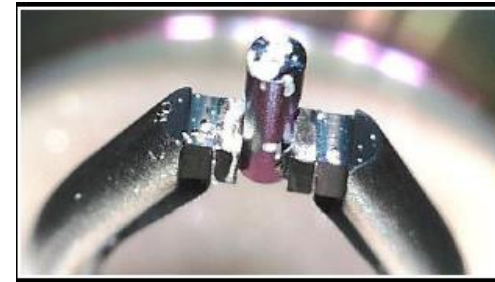


Cathode Life [Hrs]	Count
0-100	3
101-200	1*
201-300	2**
301-400	3
401-500	2
501-600	1
601-700	1

© Zenith Tecnica 2016

Where Did It Go? 406 Hours

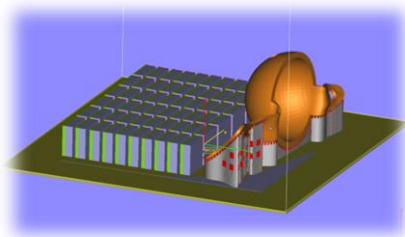
Smoke - Death - Would Not Start 153 Hours



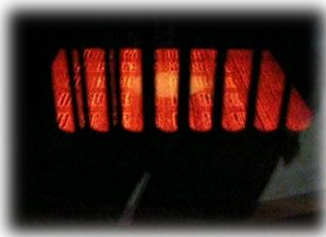
# ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ Ti6Al4V СКЭФФОЛДОВ

## Производство скэффолдов Ti6Al4V сплава методом 3D печати

CAD проект



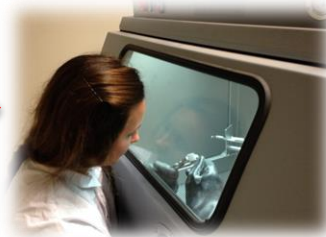
Плавление



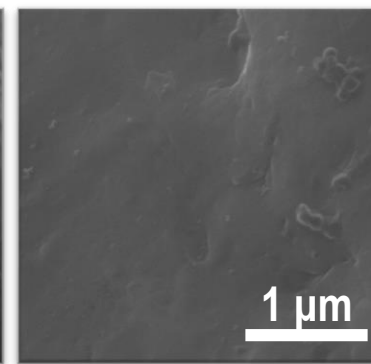
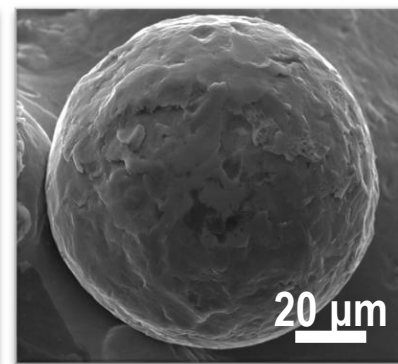
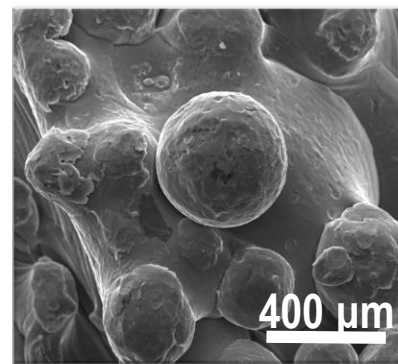
Производство



Очистка от порошка



Конечный продукт-скэффолд



**Модифицирование скэффолдов с использованием полиэлектролитных микрокапсул для адресной доставки лекарств**

# Модифицирование поверхности скэффолдов сплава Ti6Al4V

Изготовление имплантатов с помощью EBM технологии

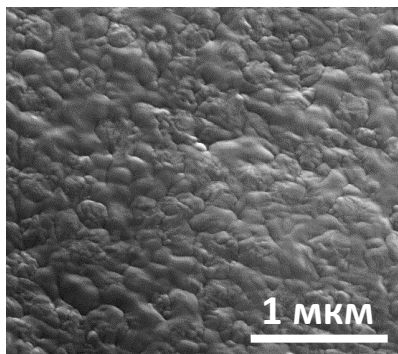
придание имплантатам антибактериальных и биосовместимых свойств

электрофоретическое осаждение наночастиц Ag и CaP

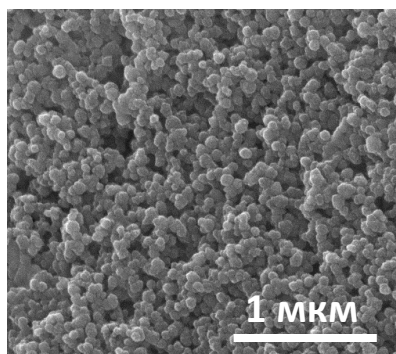


ВЧ-магнетронное осаждение покрытия на основе гидроксиапатита (ГА)

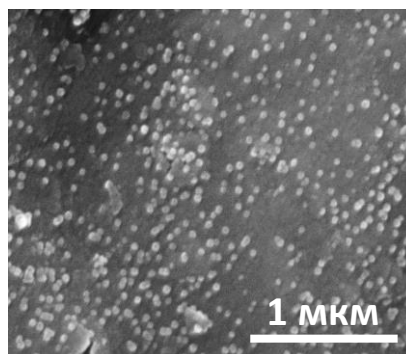
Ti6Al4V+ покрытие на основе гидроксиапатита



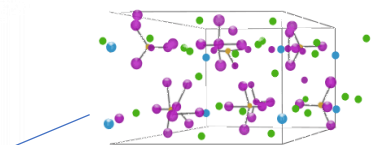
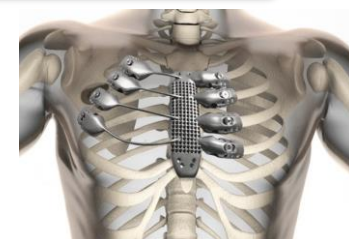
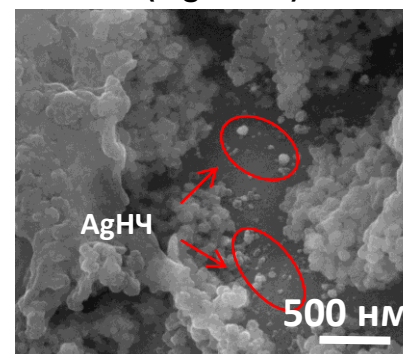
Ti6Al4V+наночастицы кальций фосфата CaP



Ti6Al4V+наночастицы серебра Ag



Ti6Al4V+наночастицы (Ag+CaP)

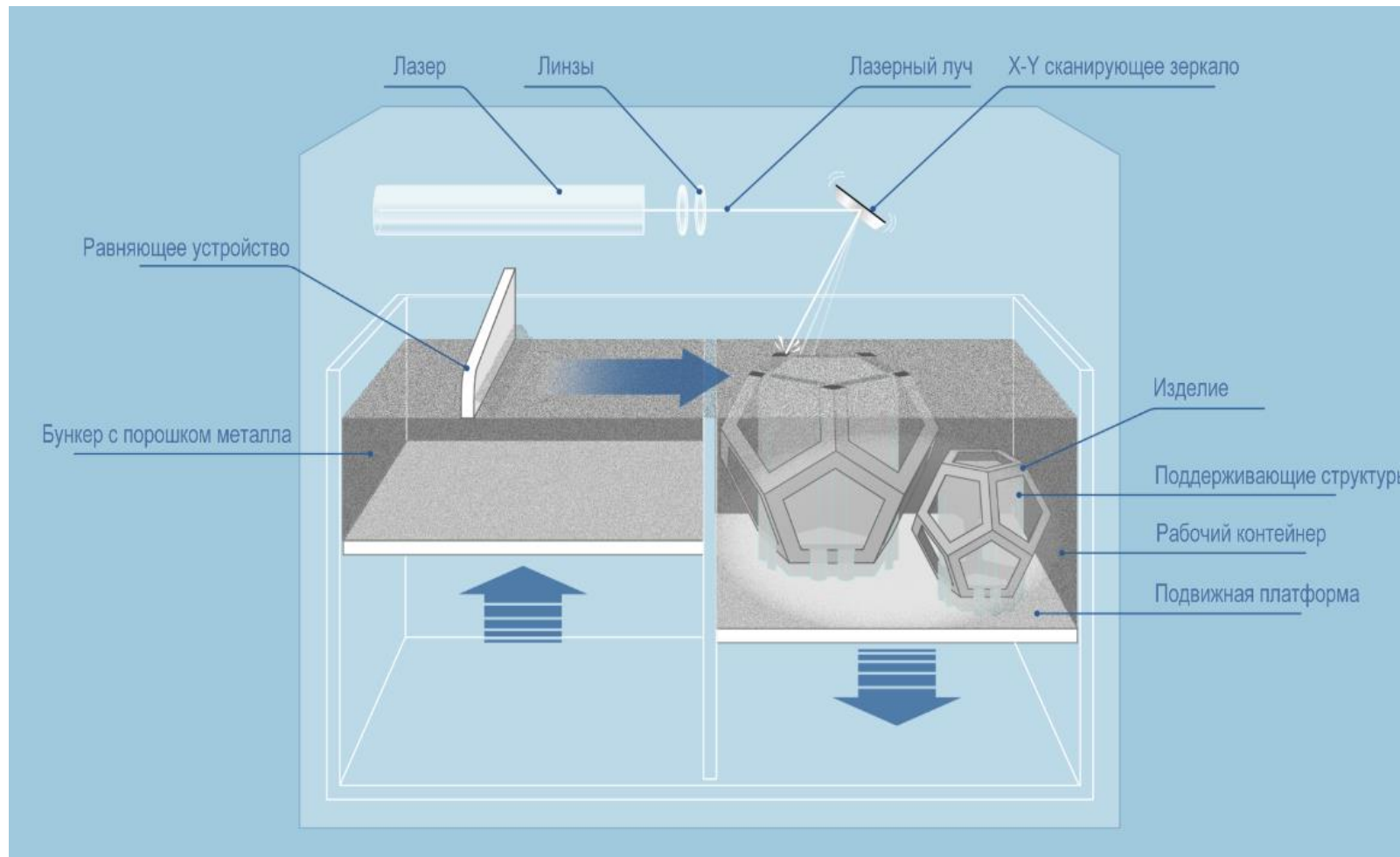


Гидроксиапатит-минеральная составляющая костной ткани



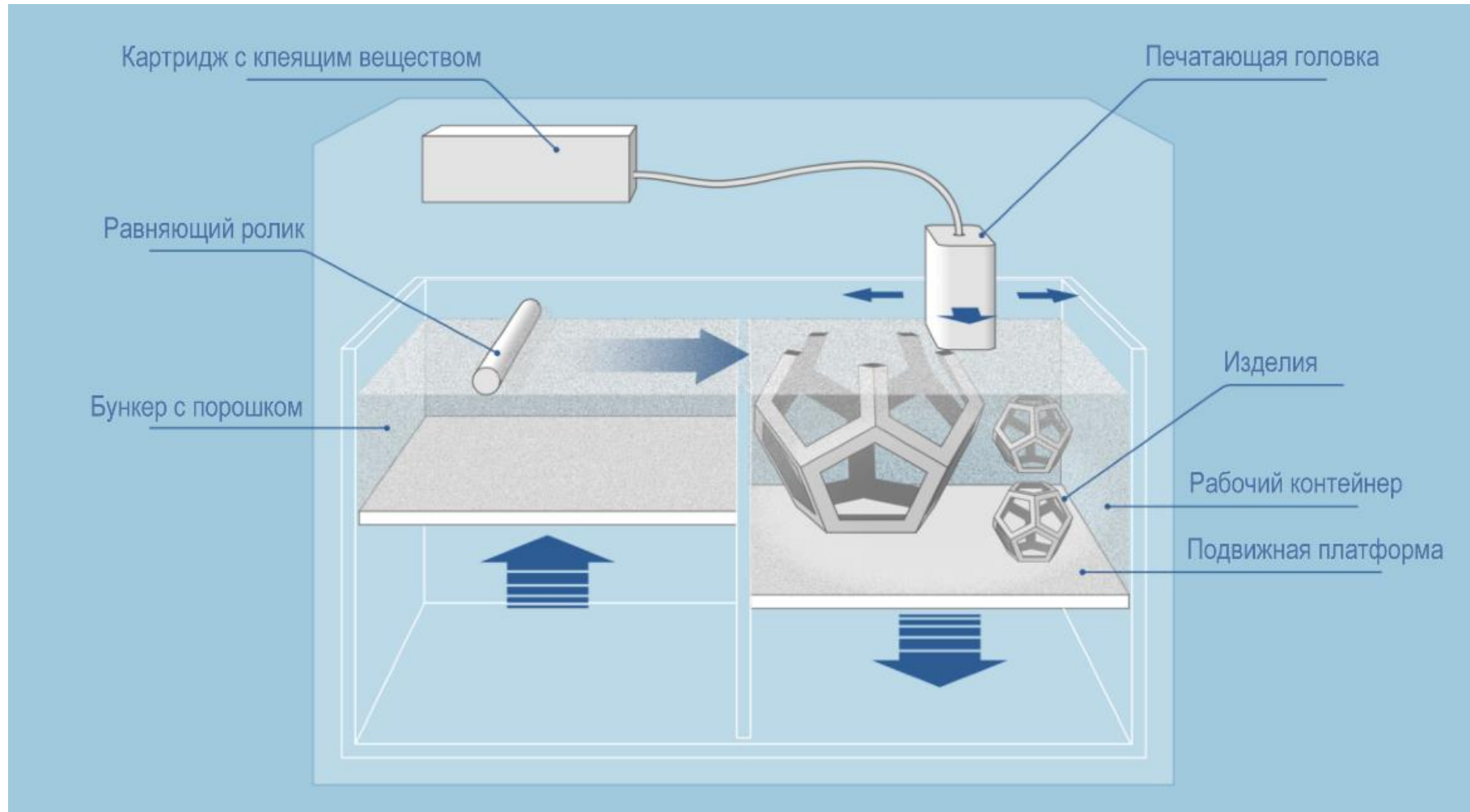
# ДРУГИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ

# SLM – Selective Laser Melting (селективное лазерное сплавление)



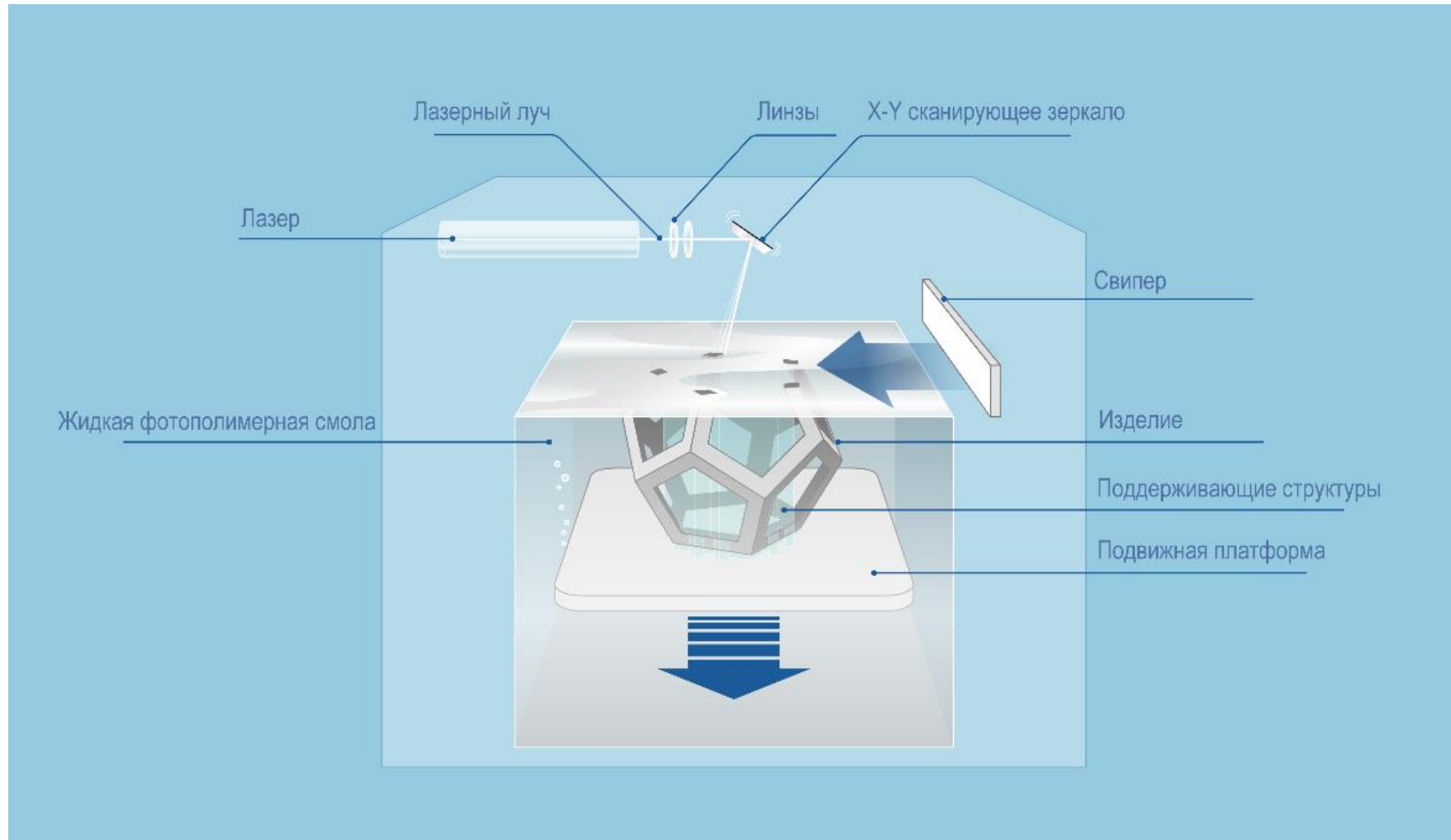
Принцип работы SLM 3D-принтера

# СТРУЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ (THREE-DIMENSIONAL PRINTING – 3DP)



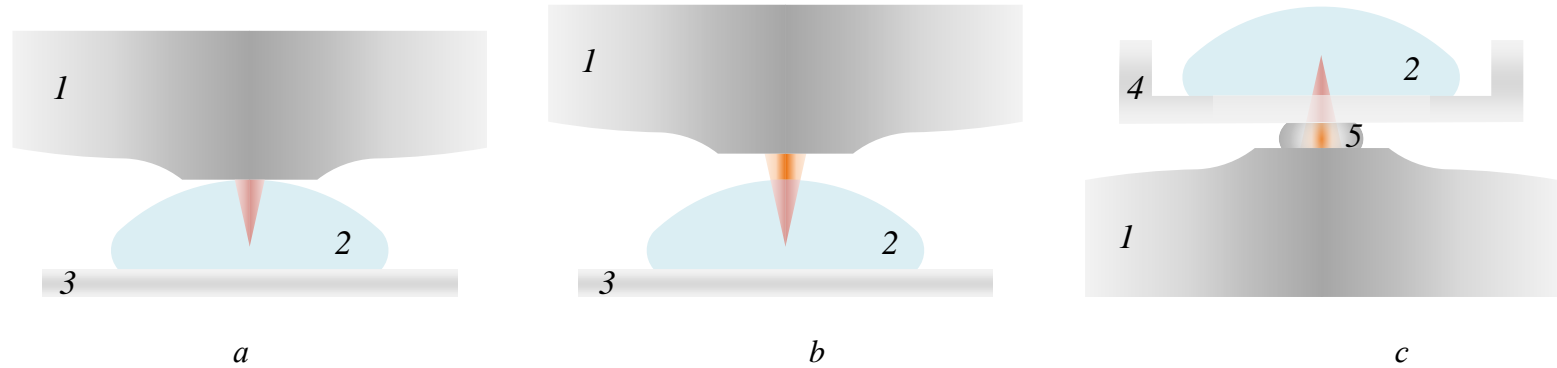
Процесс 3D-печати по технологии 3DP

# ЛАЗЕРНАЯ СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ (STEREOLITHOGRAPHY APPARATUS – SLA)



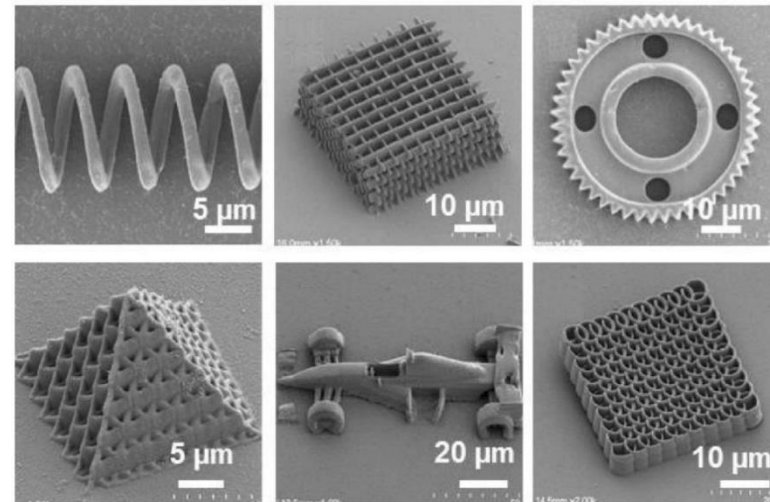
Процесс 3D-печати по технологии SLA

# МНОГОФОТОННАЯ СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ (MULTI-PHOTON POLYMERIZATION – MPP)



Объекты, созданные с помощью технологии двухфотонной стереолитографии (Producing polymer structures faster – two processes in one machine. Press Release. Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT. 2019. P. 1–4)

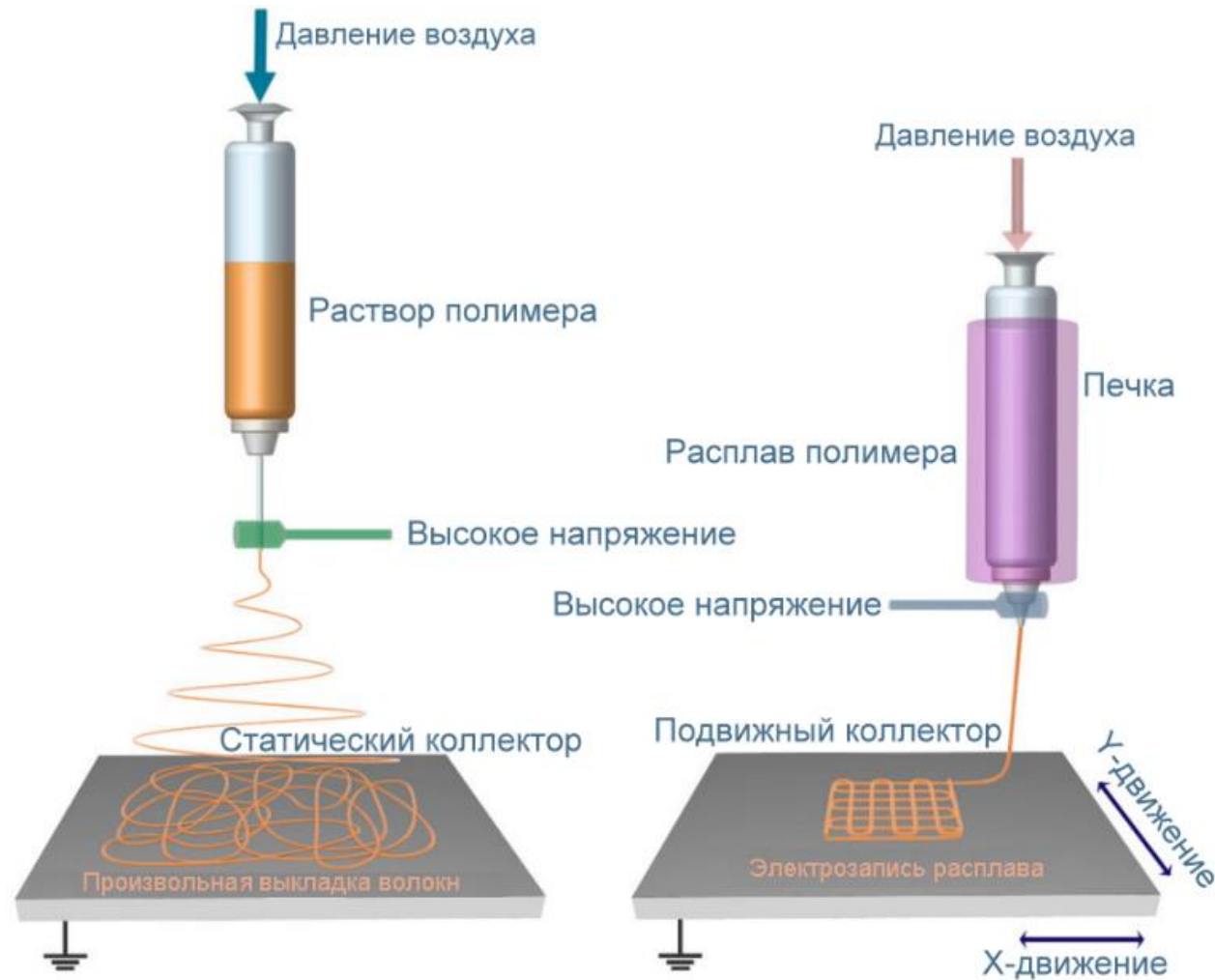
Микромасштабная 3D-печать по технологии TPP



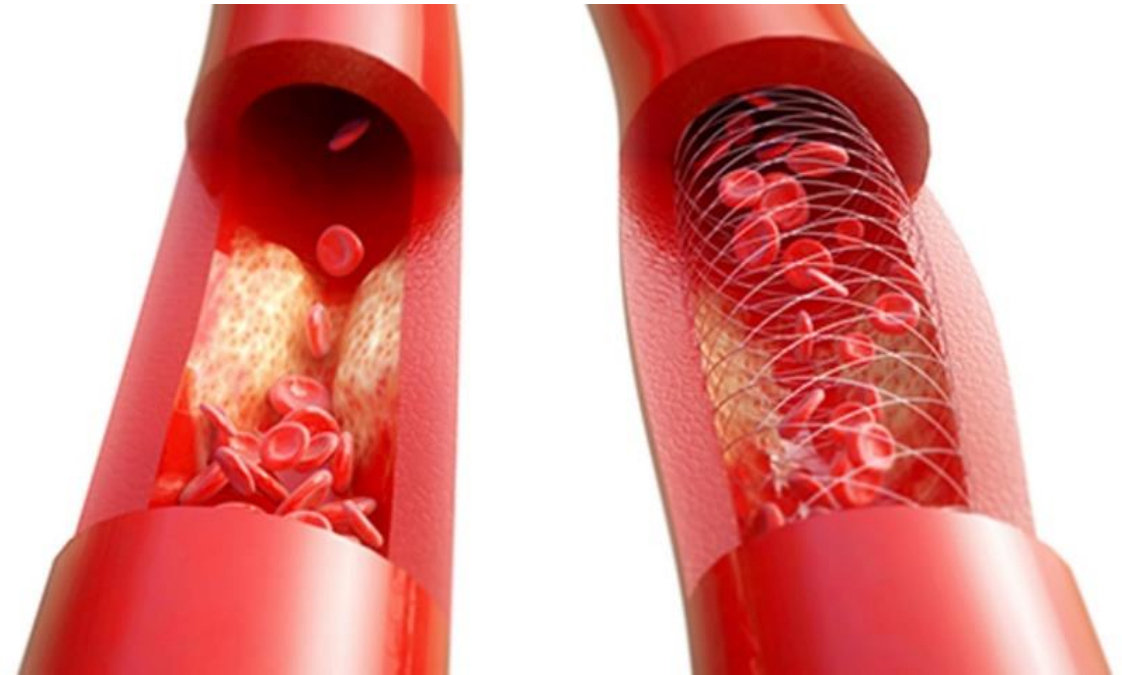
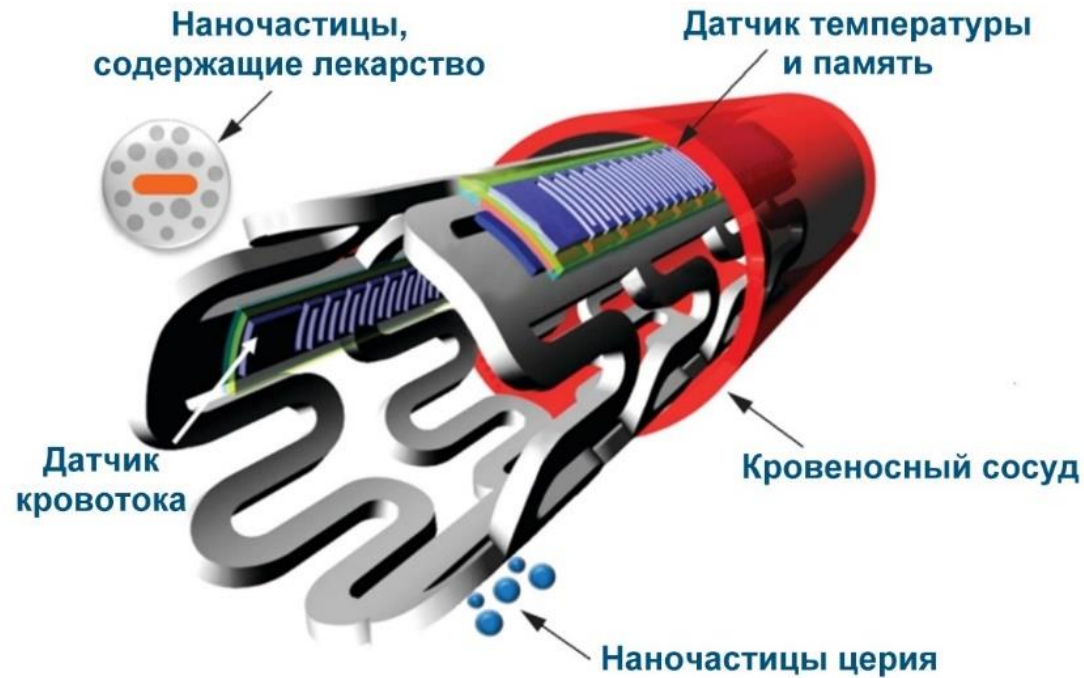
Функциональные микро/наноструктуры на основе композиционных смол МТА, созданные методом TPP-литографии. (Liu Y., Xiong W., Jiang L.J., Zhou Y.S., Lu Y.F. Precise 3D-printing of micro/nanostructures using highly conductive carbon nanotube-thiol-acrylate composites. In Book: Laser 3D Manufacturing III / Ed.: B. Gu, H. Helvajian, A. Piqué. Proc. of SPIE. 2016.)



# Электроформование ближнего поля (Near Field Electrospinning – NFES)



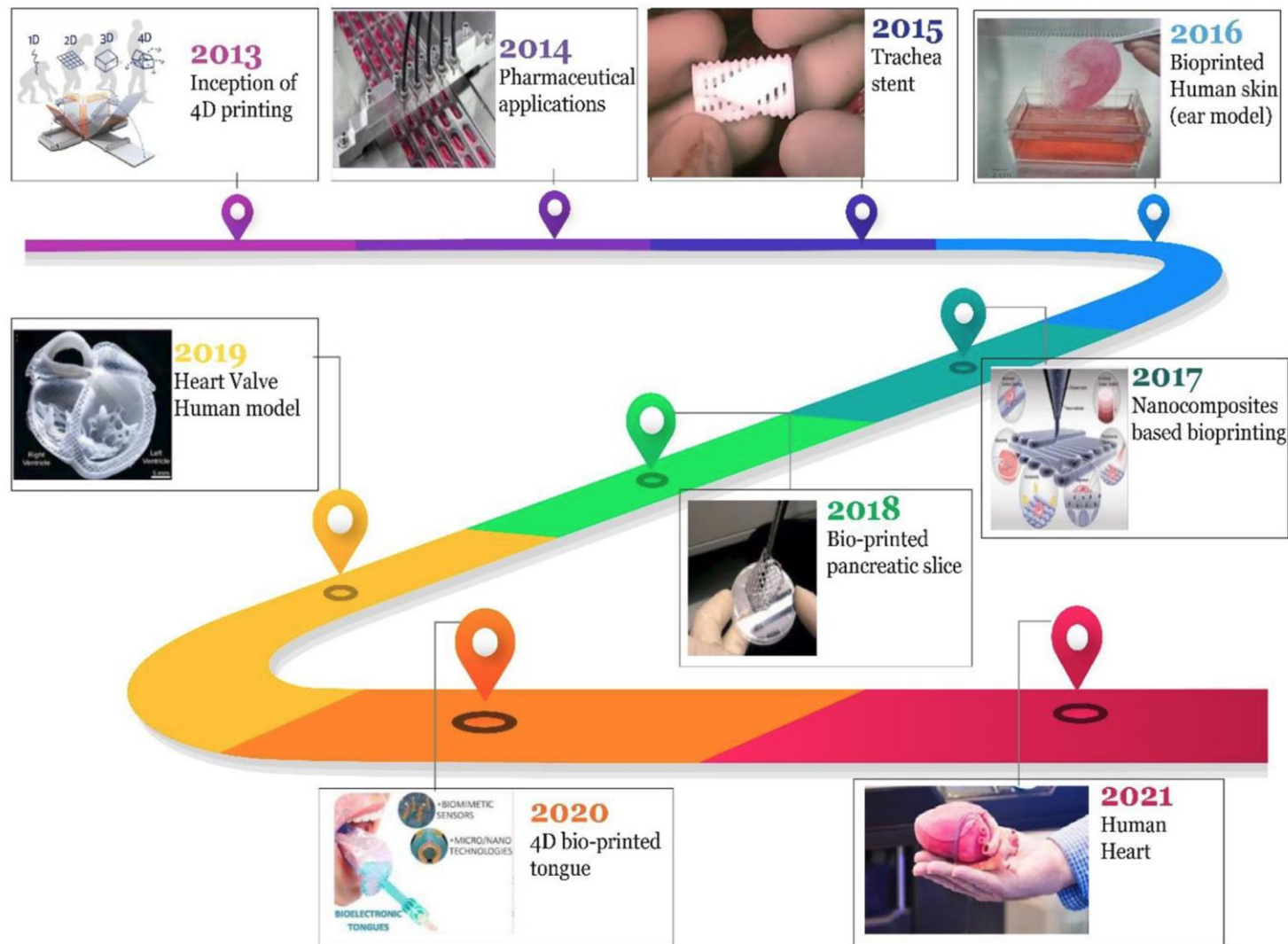
# ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БИОМЕДИЦИНЕ



Биорезорбируемый электронный стент с наночастицами (Son D., Lee J., Lee D.J., Ghaffari R., Yun S., Kim S.J., Lee J.E., Cho H.R., Yoon S., Yang S., Lee S., Qiao S., Ling D., Shin S., Song J.-K., Kim J., Kim T., Lee H., Kim J., Soh M., Lee N., Hwang C.S., Nam S., Lu N., Hyeon T., AChoi S.H., Kim D.-H. Bioresorbable Electronic Stent Integrated with Therapeutic Nanoparticles for Endovascular Diseases // ACS Nano. 2015. Vol. 9. № 6. P. 5937–5946.)

Закупоренный кровеносный сосуд (слева) и сосуд, открытый стентом (справа)

# 4D-биопечать



Развитие биомедицинской сферы с помощью различных технологий 4D-биопечати (Arif Z.U., Khalid M.Y., Ahmed W., Arshad H. A review on four-dimensional (4D) bioprinting in pursuit of advanced tissue engineering applications // Bioprinting. 2022. Vol. 27. P. e00203)

Спасибо за внимание!

