

Предизвикателство пред съвременната фотоника – разработка на нови приложения и лазерни източници



Иван Бъчваров

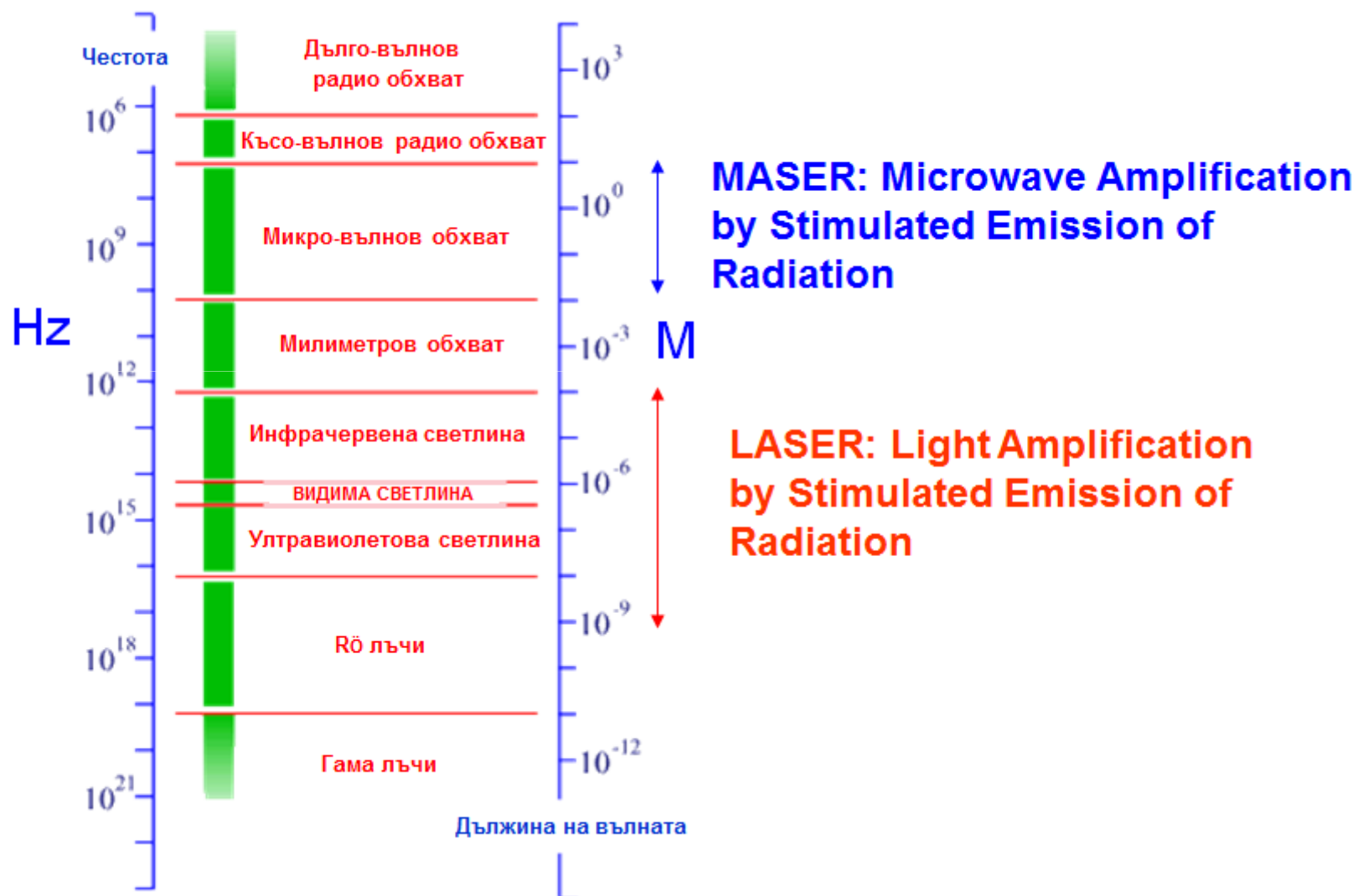
Катедра Квантова Електроника
Физически факултет,
СУ, “Св, Кл. Охридски”, България

Tel 359 2 8161708

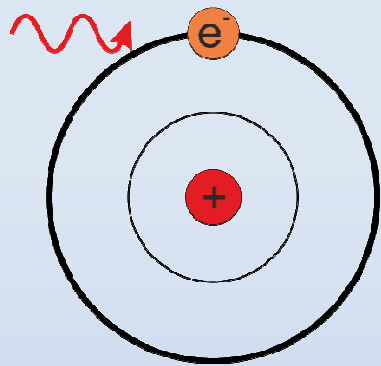
e-mail : ivan.buchvarov@phys.uni-sofia.bg

web: www.phys.uni-sofia.bg/~ibuch

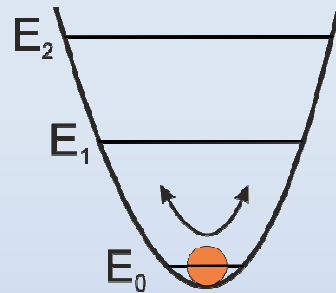
Спектър на електро-магнитни вълни



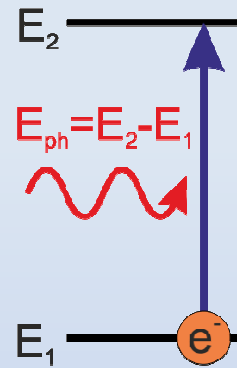
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation LASER



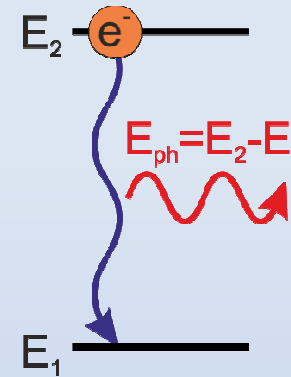
Модел на атома



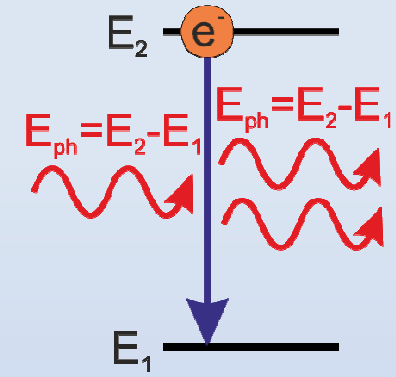
Модел на електрона



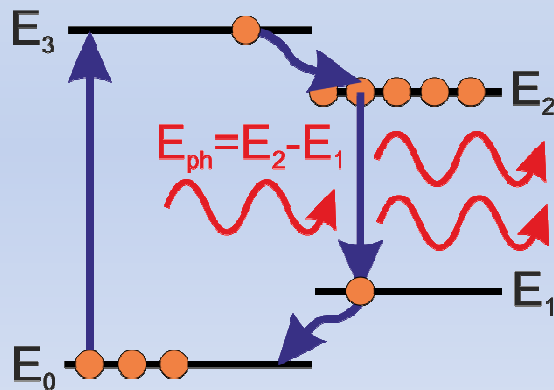
Поглъщане



Спонтанно излъчване



Стимулирано излъчване



Диаграма на енергетичните нива

$R=100\%$



Активна среда



$R<100\%$



Лазерно лъчение:

- Висока яркост
- Монохроматичност
- Кохерентност

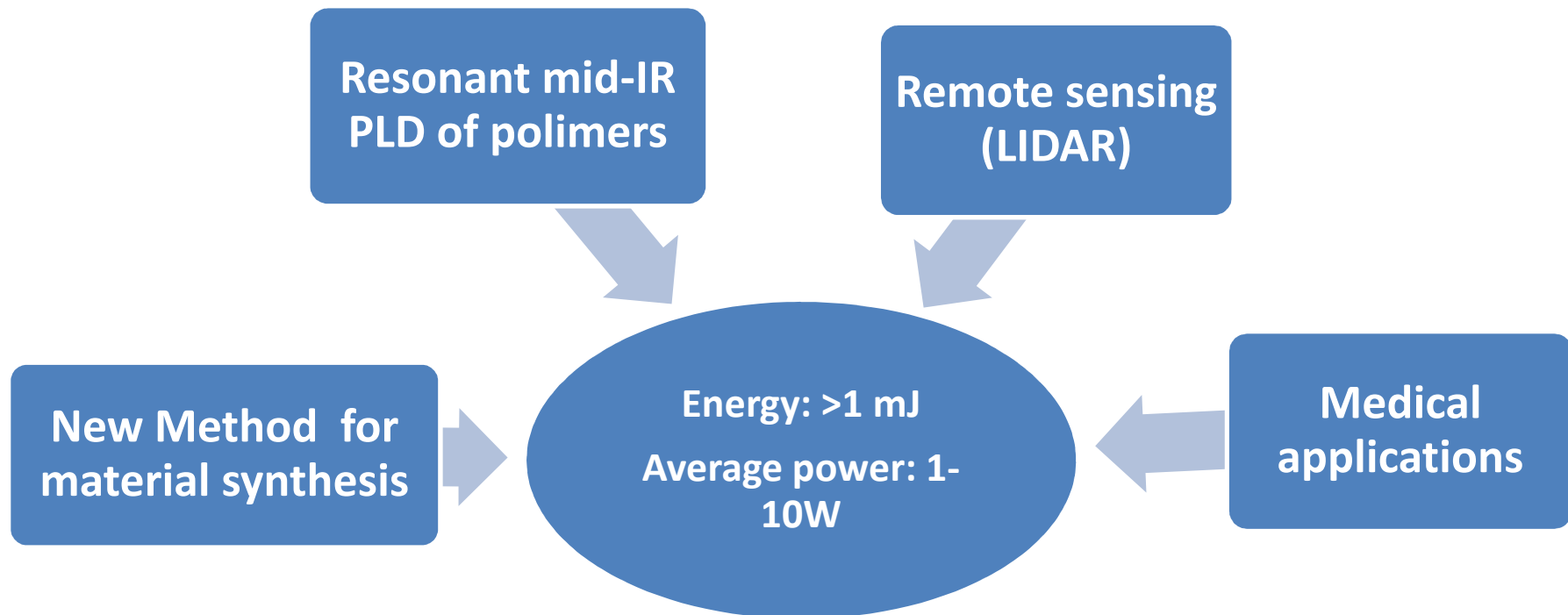
**ЛЪЧЕНИЕ В СРЕДНИЯ ИФРАЧЕРВЕН
ДИАПАЗОН:**

**РАЗРАБОТКА НА ПРИЛОЖЕНИЯ
И ЛАЗЕРНИ ИЗТОЧНИЦИ**



Motivation/ Мотивация

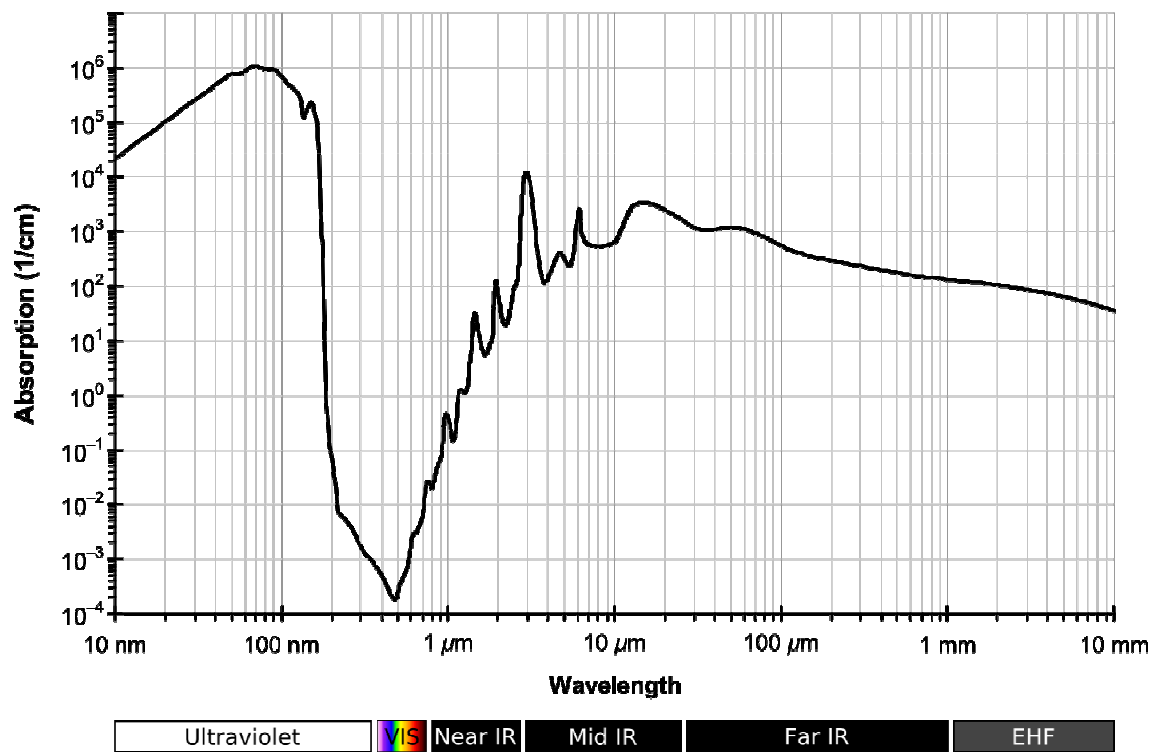
Lasers tunable between 2.5 –5 μm with high average power (>2 W) and high pulse energy (>2 mJ) :



Предимства за медицински приложения

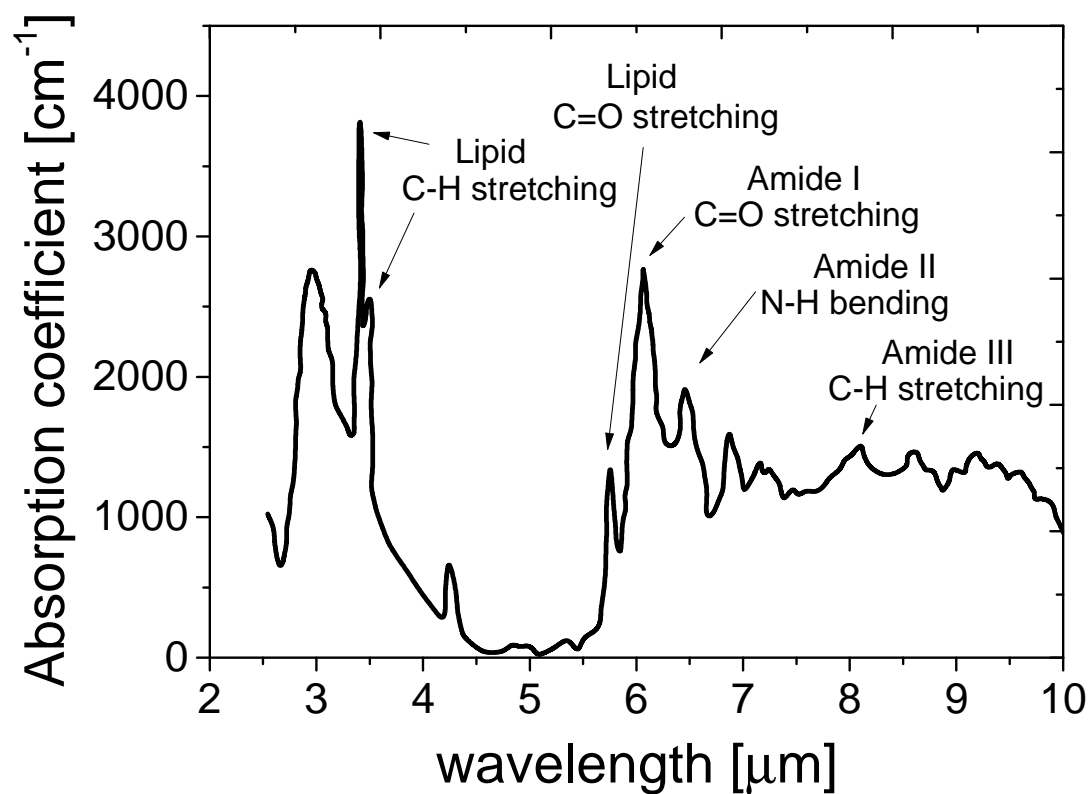
Tissue is composed of : **Water** , **Proteins** and **Lipids**

absorption spectrum of Water



Advantages for medical applications

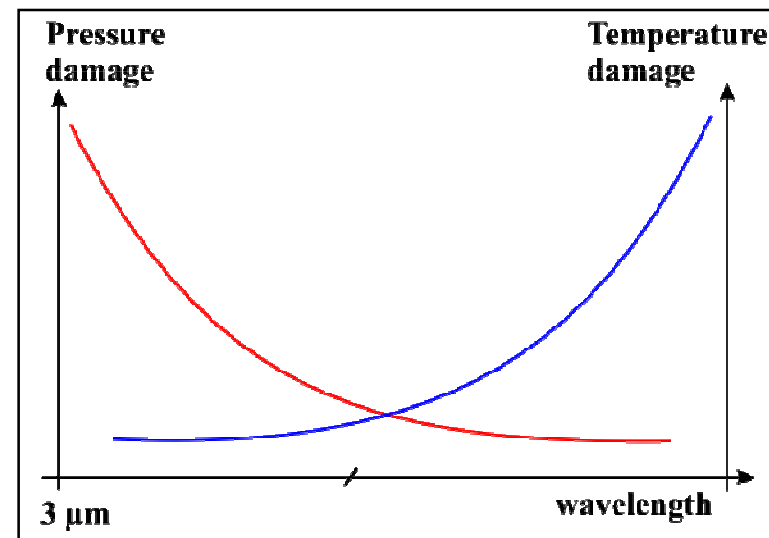
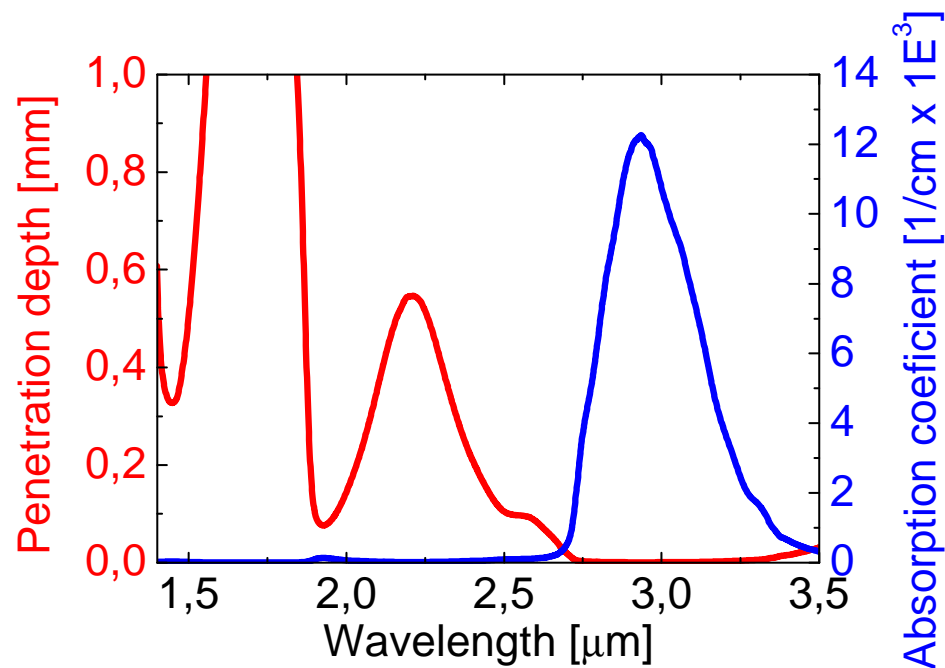
absorption spectrum of skin (Mid-IR)



Advantages for medical applications

Minimizing collateral damage

- Thermal damage
- Pressure damage

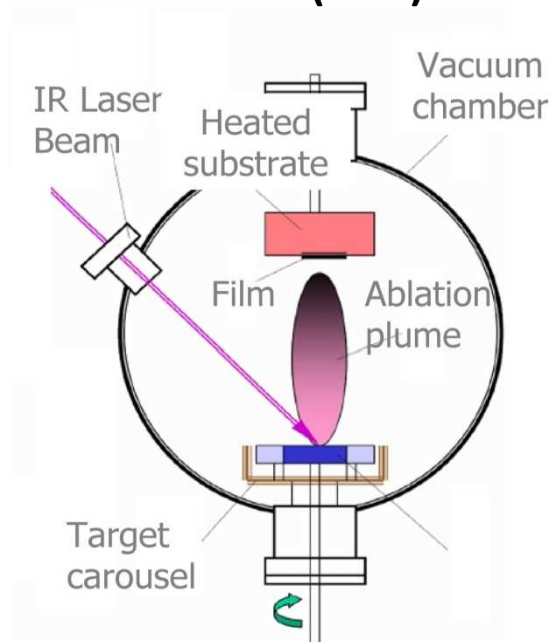


Ключови предимства на технологията

- Минимално странично увреждане – до размера на една биологична клетка.
- Най-добра прецизност на рязане – до 10 микрона в ширина и до 100 микрона в дълбочина.
- Уникално свойство да реже **меки** и **твърди тъкани** с една и съща прецизност и минимално увреждане.
- Премахване на слоеве от меки и твърди тъкани с желана дебелина.
- Уникално свойство да едновременно да реже и коагулира тъканите

Resonant Mid - Infrared Pulse-Laser Deposition

Technologies are proven with free-electron lasers (FELs).



I. Polymer Thin Film Deposition:

Requires tunability from 3.2 to 3.5 μm

- OLED displays
- AR coatings using polymers and nano-particles

Prof. R. Haglund, Vanderbilt university

II. Synthesis of Crystalline Coatings of Known Hard or Superhard Materials using a Confined-Plume Chemical Deposition:

Precursor vib. bands : 3125-2500 cm^{-1}
i.e. 3.2—4 μm

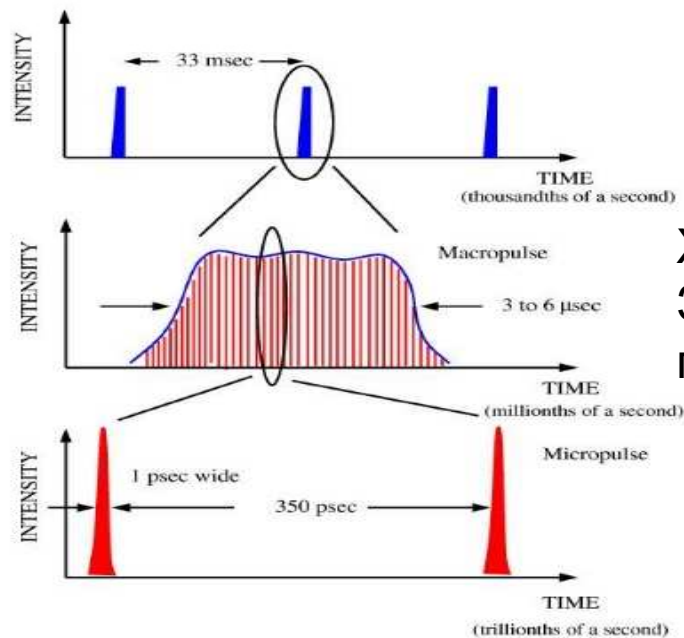
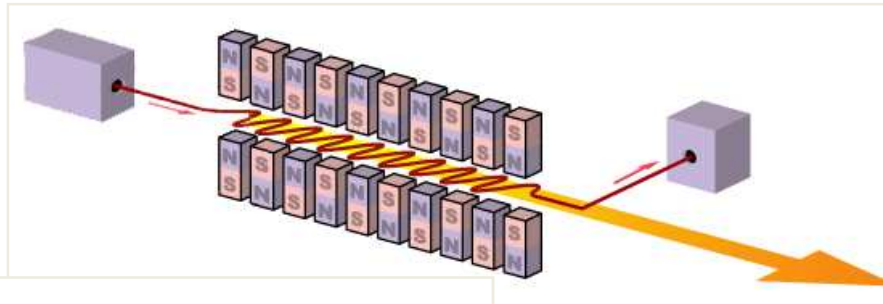
Prof. Ch. Lukehardt, Vanderbilt university,
J. Am. Chem. Soc., 2009, 131 (33), pp 11744–11750

OLED displays are currently the hottest products in the display technology market



Съществуващата технология: Лазер на свободни електрони (FEL) Mid-IR Mark III Vanderbilt

Съществуваща
технология

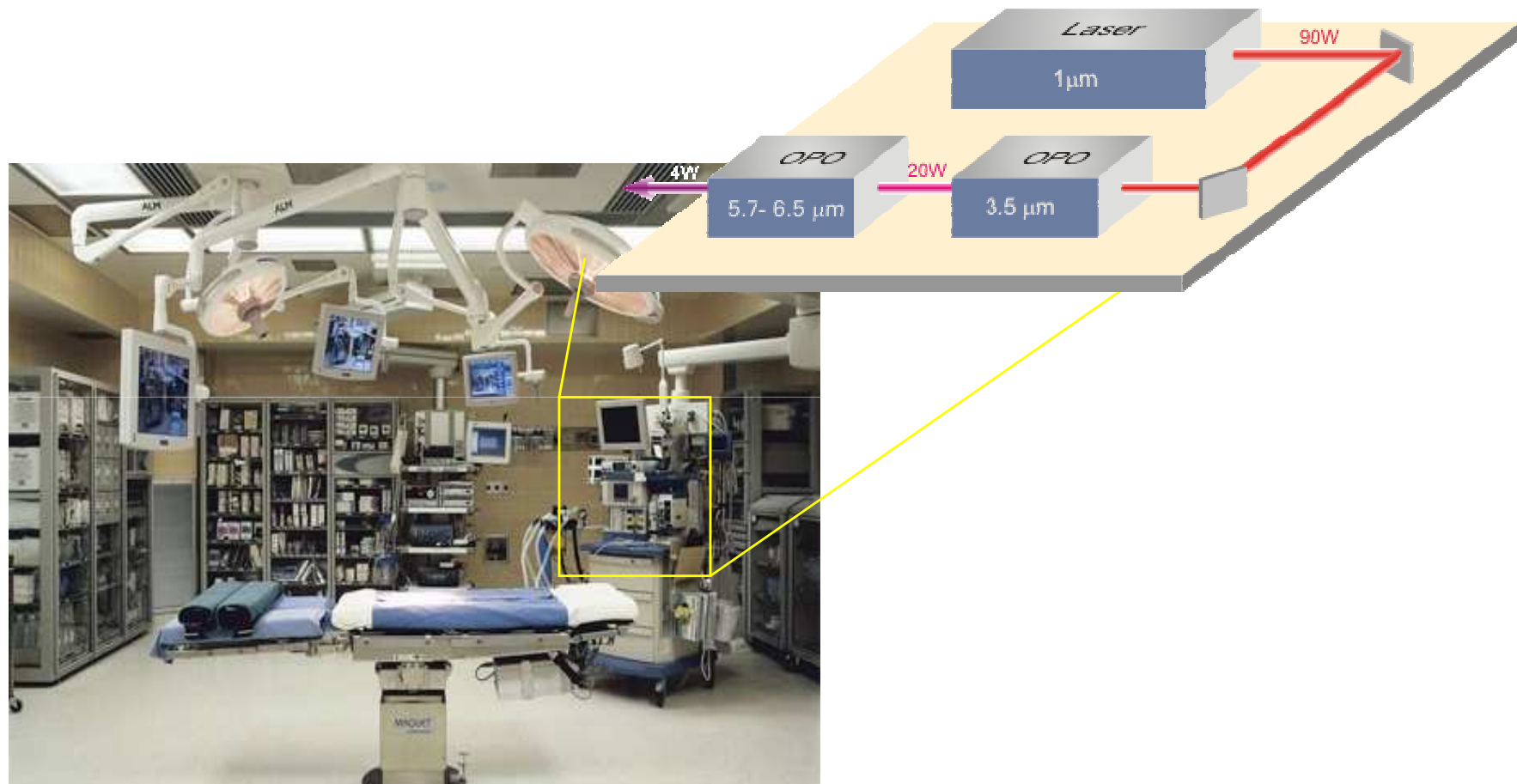


Характеристики на FEL
За медицински
приложения:

- Пrenaстройваемост
в диапазона (2 - 20 μ m);

- Мощен лазерен източник
(Няколко Вата на 30 Hz)

Прилагане на прецизната лазерна хирургия



В конвенционалните операционни зали могат да бъдат да бъдат инсталирани компактни лазерни системи.

Existing technology –on an tabletop

Required parameters :

tunable between 2.5 –5 μm with

high average power (>2 W)

and high pulse energy (>2 mJ) (Abl.Th. $\sim 1\text{-}2 \text{ J/cm}^2$)

Existing laser technology :

High average power (1-100 kHz) \rightarrow **modest energies $\sim \mu\text{J}$**

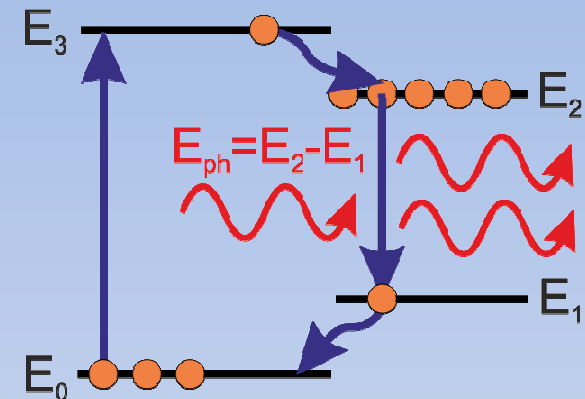
+ High energy (1-30 Hz) \rightarrow **modest average power $\sim 100\text{mW}$**

Novel laser technology: **high power + high energy**

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation LASER

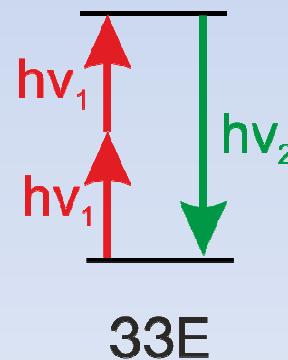
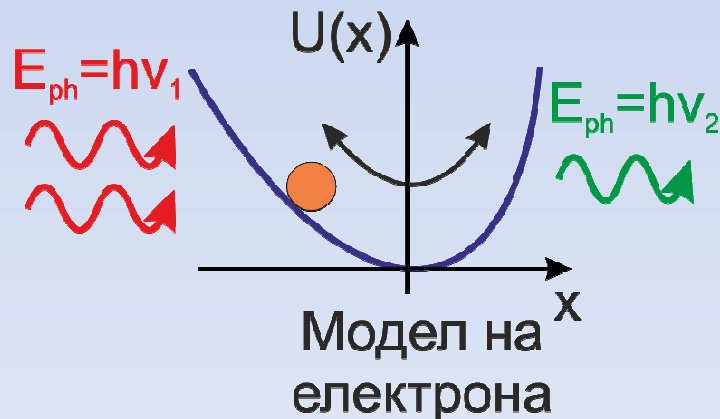
Недостатък на лазерното лъчение:

Честотата му е строго определена ($E_{ph} = h\nu = E_2 - E_1$)

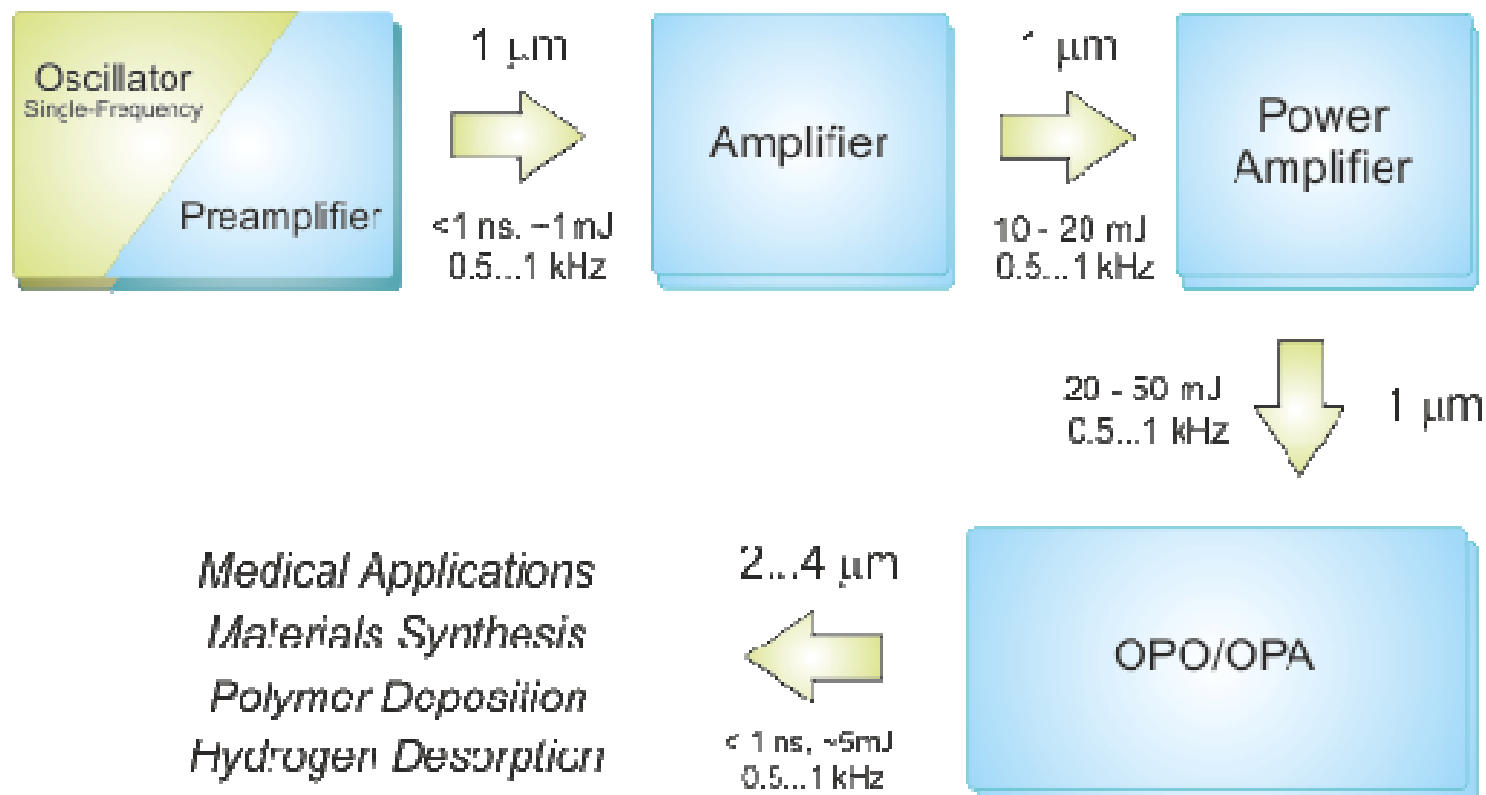


Диаграма на енергетичните нива

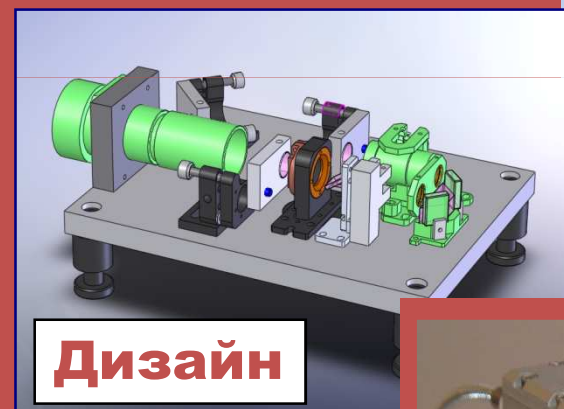
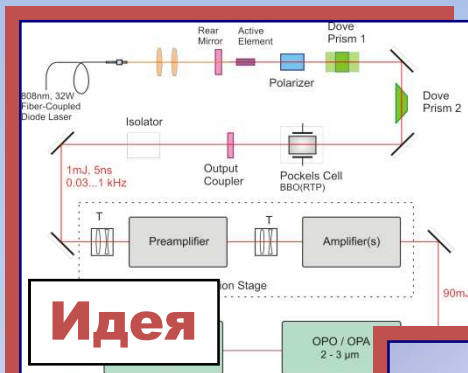
Нелинейно честотно преобразуване при висок интензитет,
Генерация на друга честота – два пъти по голяма
=генерация на втора хармонична :



Стратегия за създаване на мощен лазерен източник в средната инфрачервена област



Три стъпки

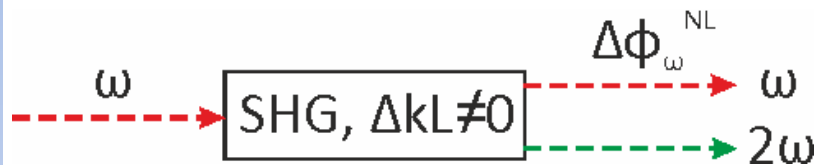


Софийски Университет "Св. Климент Охридски"

Софийски Университет, 2014

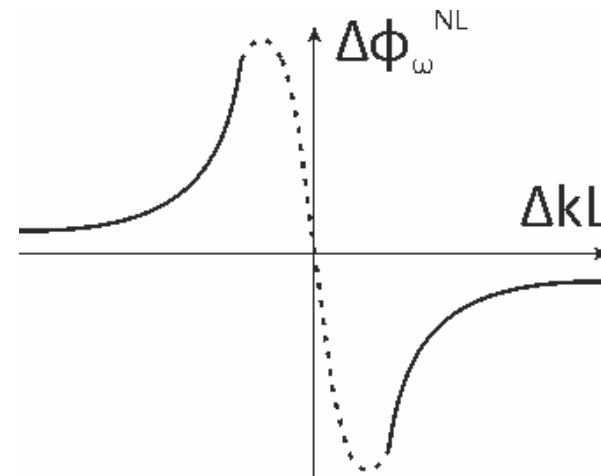
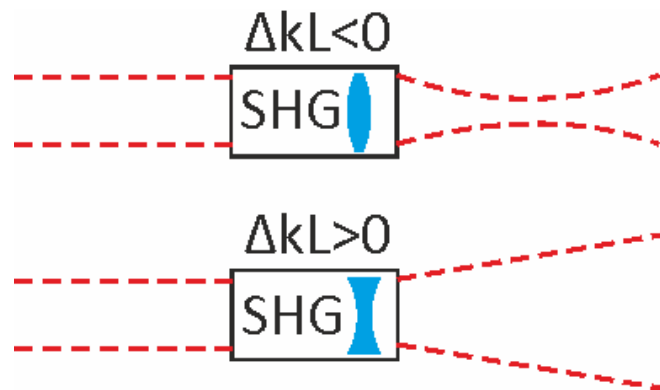
$\chi^{(2)}$ -lens mode-locking: Basics

SHG at $\Delta kL \neq 0 \rightarrow$ nonlinear phase shift:



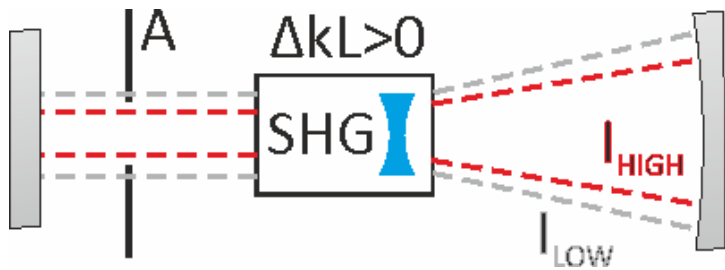
$$\Delta\phi_{\omega}^{NL}(I_{\omega}, \Delta kL) \xrightarrow{|\Delta k| \gg |\Gamma|} -\frac{\Gamma^2 L^2}{\Delta kL}$$

$$\Gamma^2 = \frac{2\omega^2 d_{eff}^2}{c^3 \epsilon_0 n_{2\omega} n_{\omega}^2} I_{\omega} \quad n_{\omega}(I) = n_0 + n_2^{eff} I$$



R. DeSalvo et al., *Opt. Lett.*, 17, (1992)

$\chi^{(2)}$ -lens mode-locking: Basics



$\chi^{(2)}$ -lens mode-locking assisted by soliton pulse formation

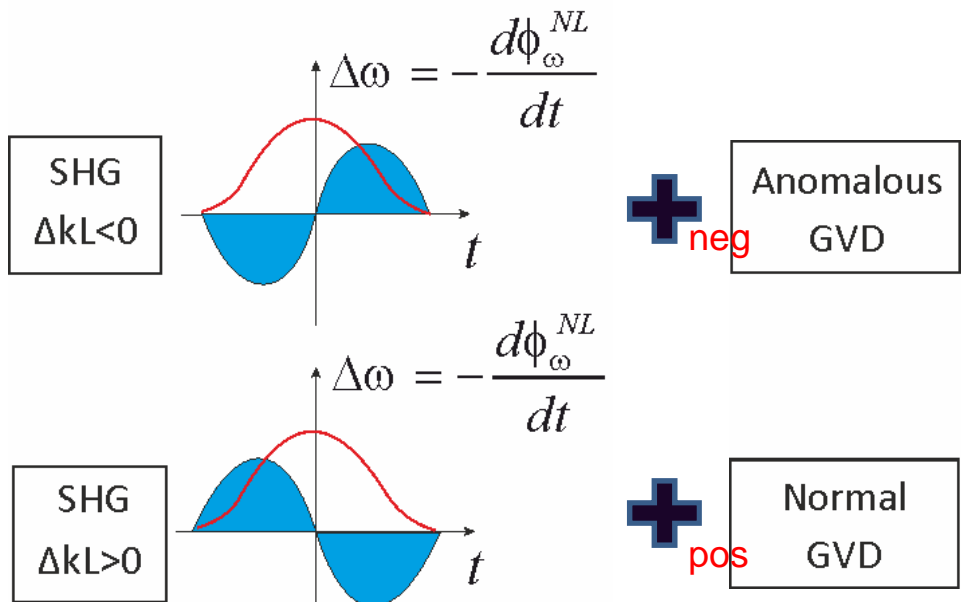
$\chi^{(2)}$ -lens formation



intracavity aperture effect

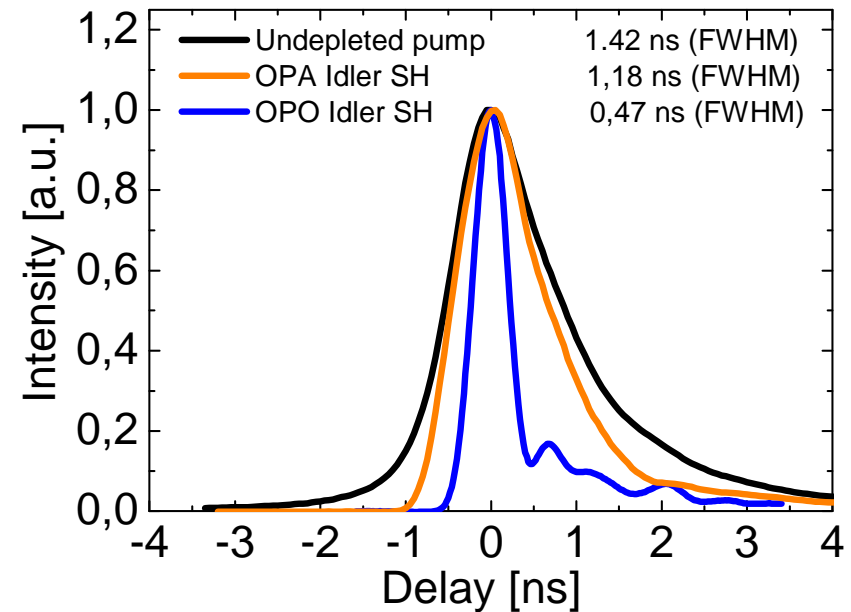
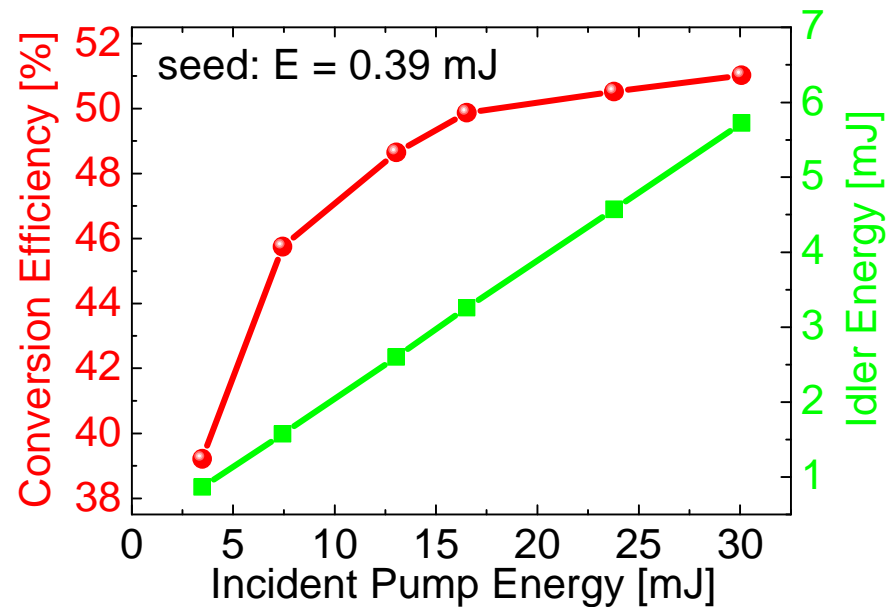


mode-locking



Ref : H. Iliev, I. Buchvarov, S. Kurimura, and V. Petrov, Opt. Letters 35, 1016–1018 (2010).

Record 5.7 mJ OPA 3 - 3.5 μm



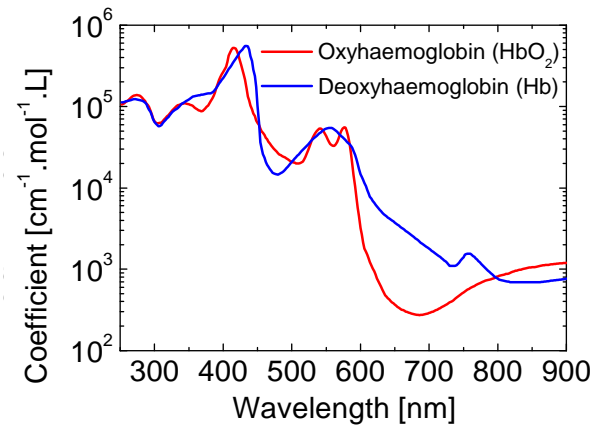
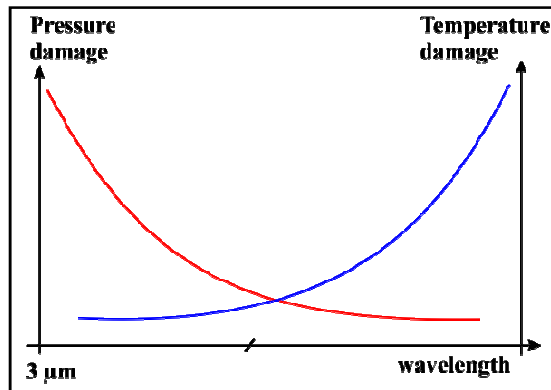
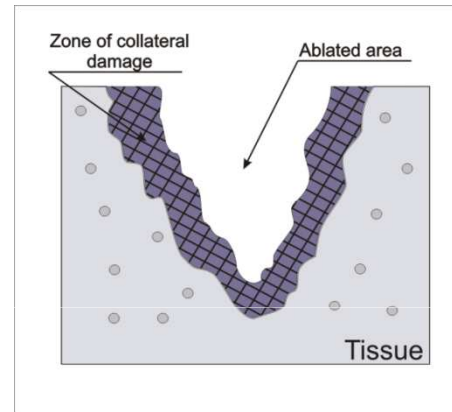
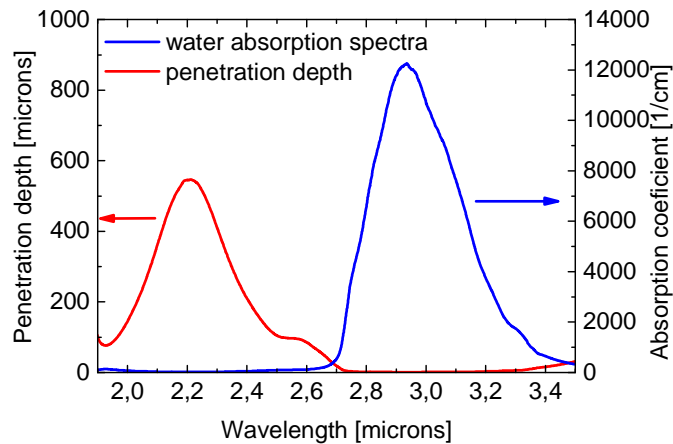
- Output : **5.7 mJ**
- Total Conversion efficiency: 51%
- Idler conversion efficiency: 19%

- Undepleted pump: 1.4 ns
- Calculated OPO idler: 460 ps
- Calculated OPA idler : 1.4 ns

Медицински приложения

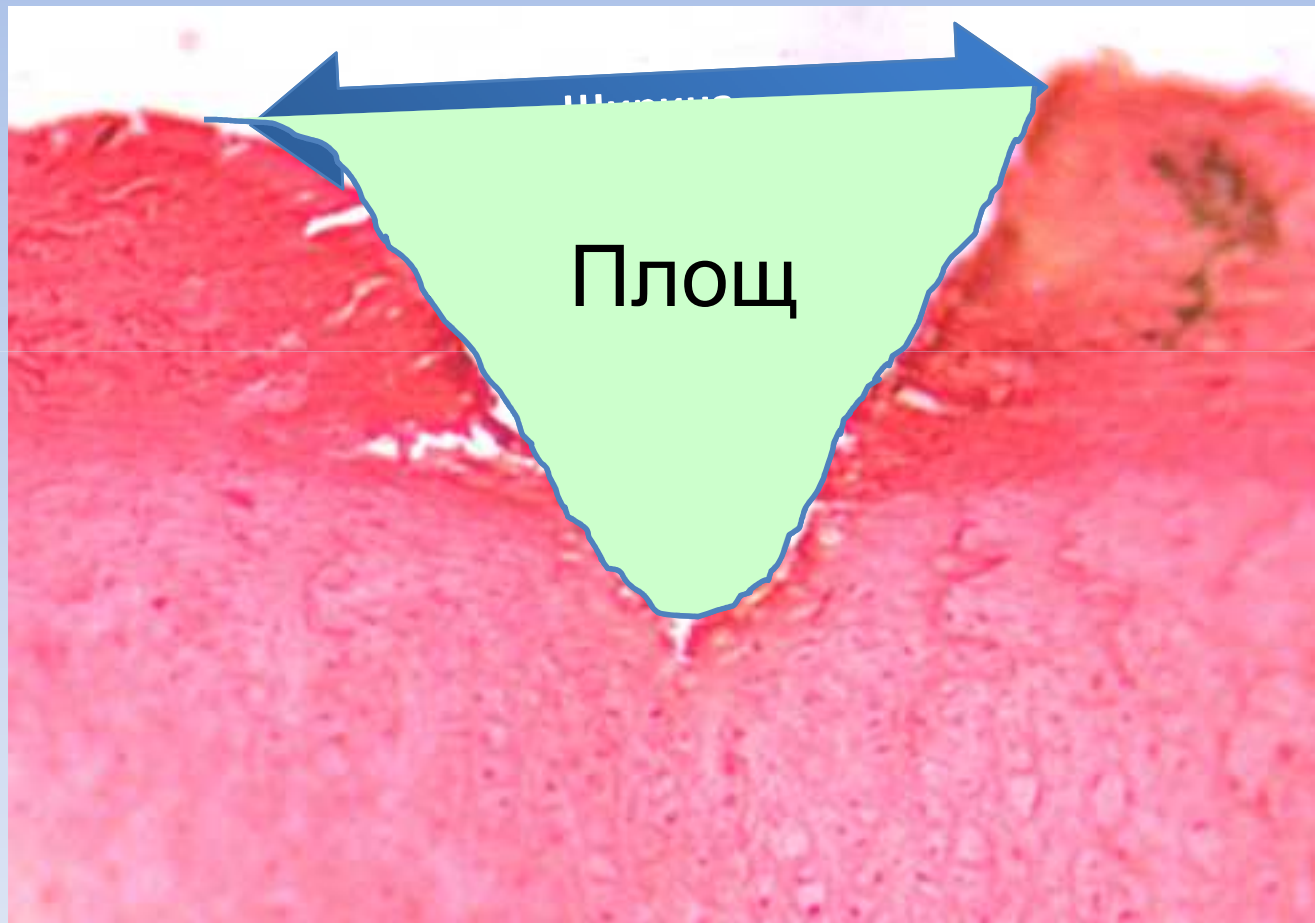
Основната идея за лазерна хирургия с висока прецизност и минимално увреждане:

Предимства на лазерни източници, пренастройваеми около поглъщането на водата.



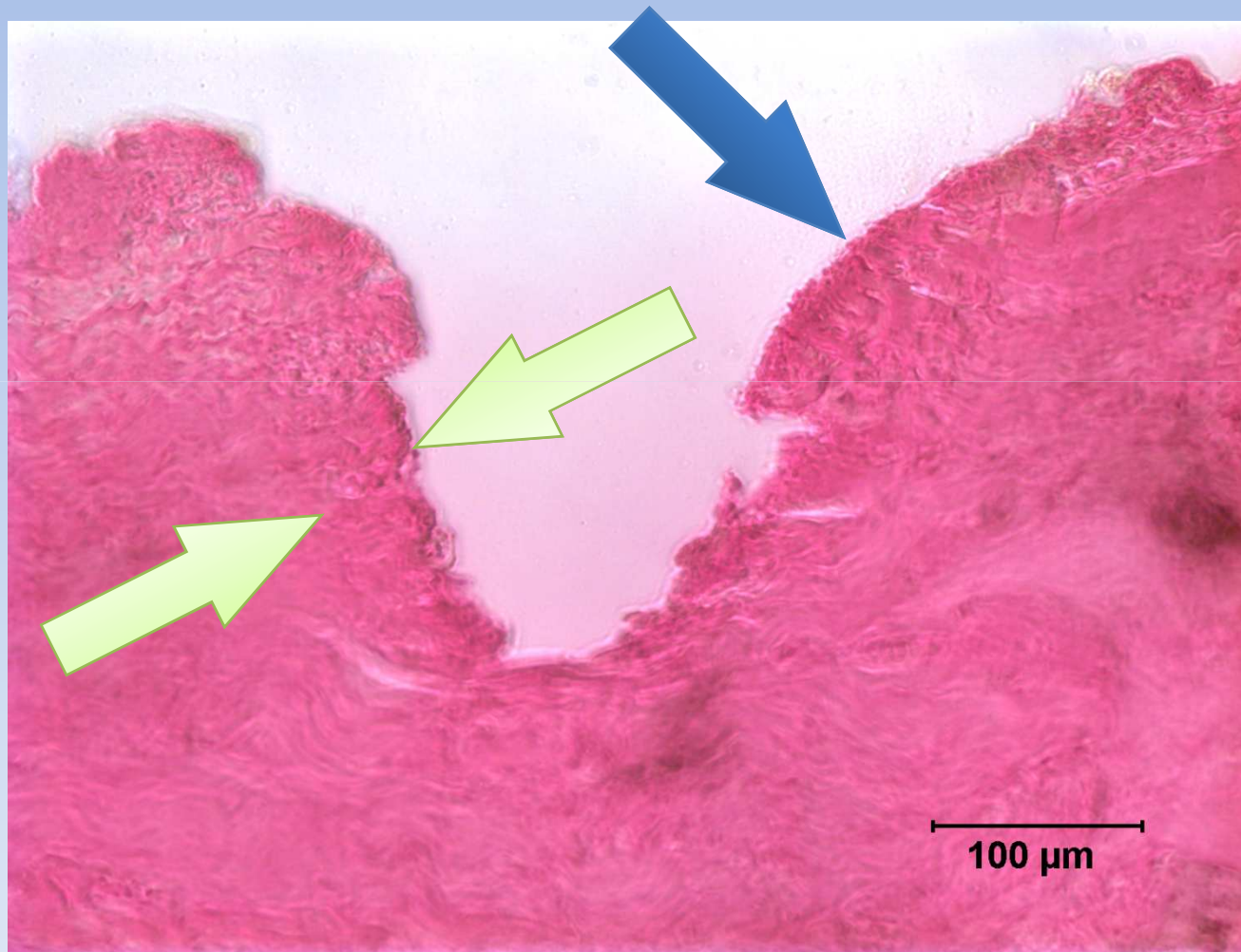
Използване на ОПО, напompвано с лазер на 1 микрон и едновременно ГВХ – 500 нм

Квантуване на аблацията



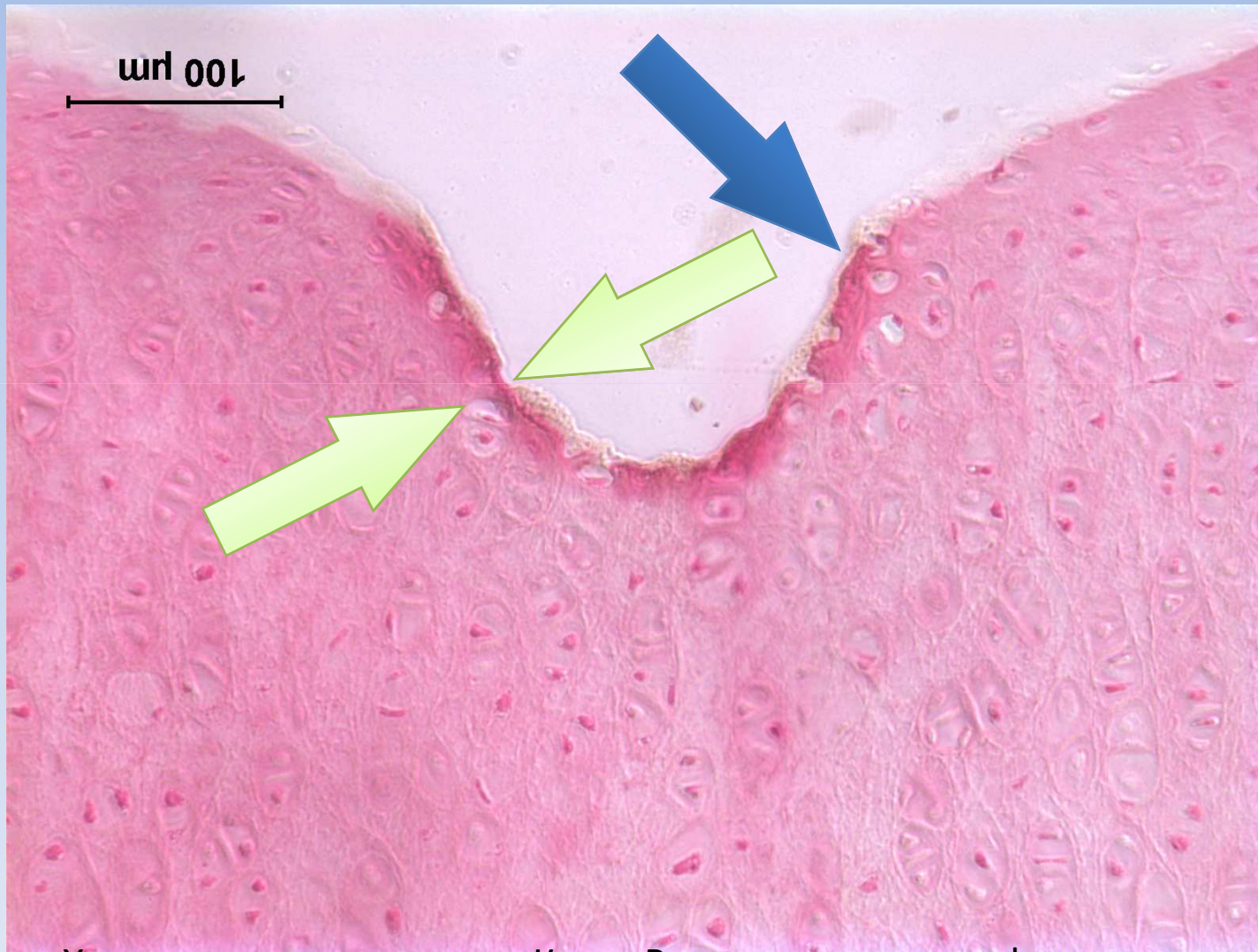
Пример – аблация на кожа от прасе

канал



Пример – аблация на хрущя от прасе

Канал /



Хистологичен анализ д-р Клаус Рихтер медицински факултет
Northwestern university Chicago

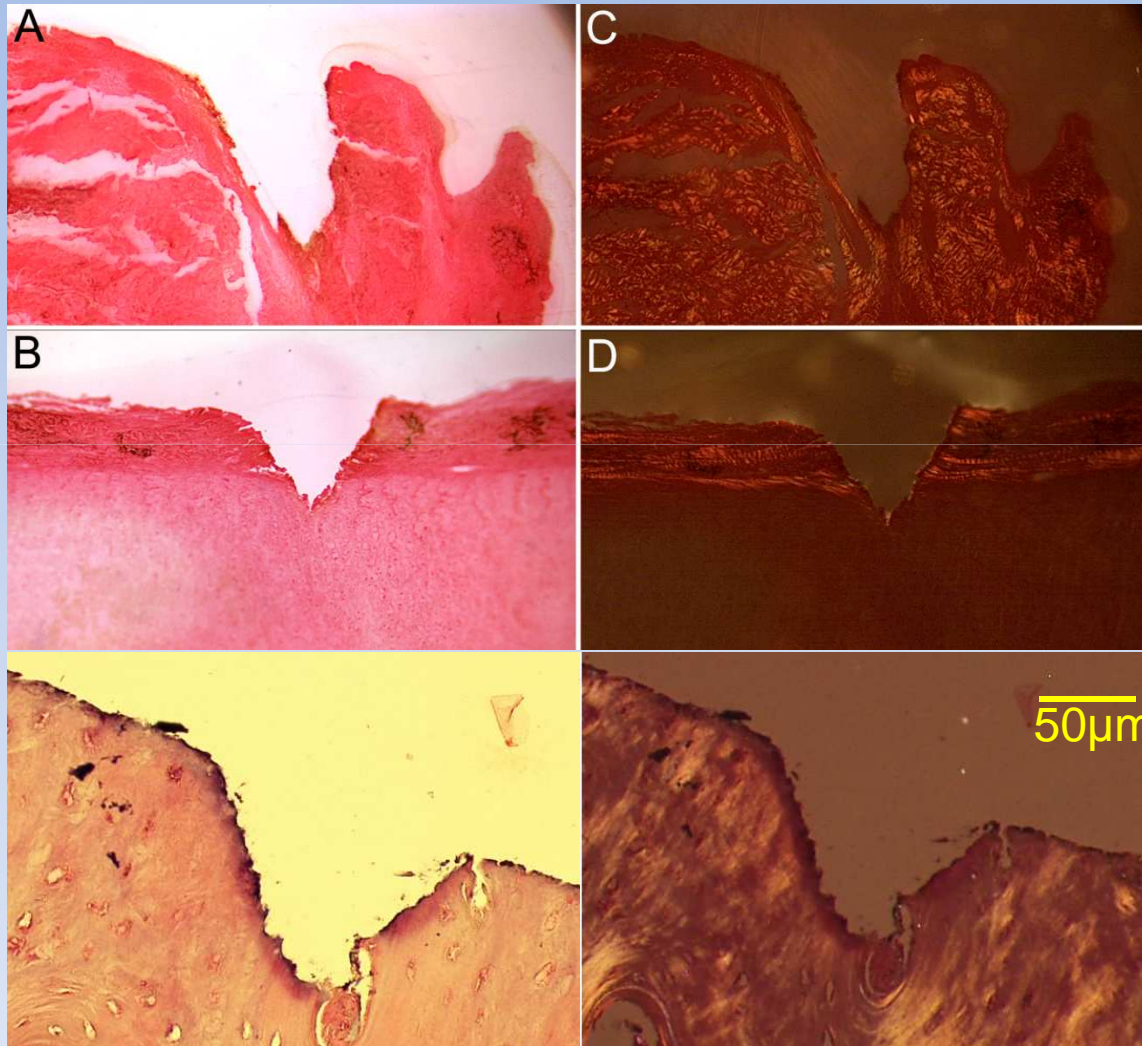
Пример – аблация на черен дроб от мишка



Софийски Университет “Св.
Климент Охридски”

Софийски Университет, 2014

Пример – аблация на кожа и хрущял от прасе



Кожа

Хрущял

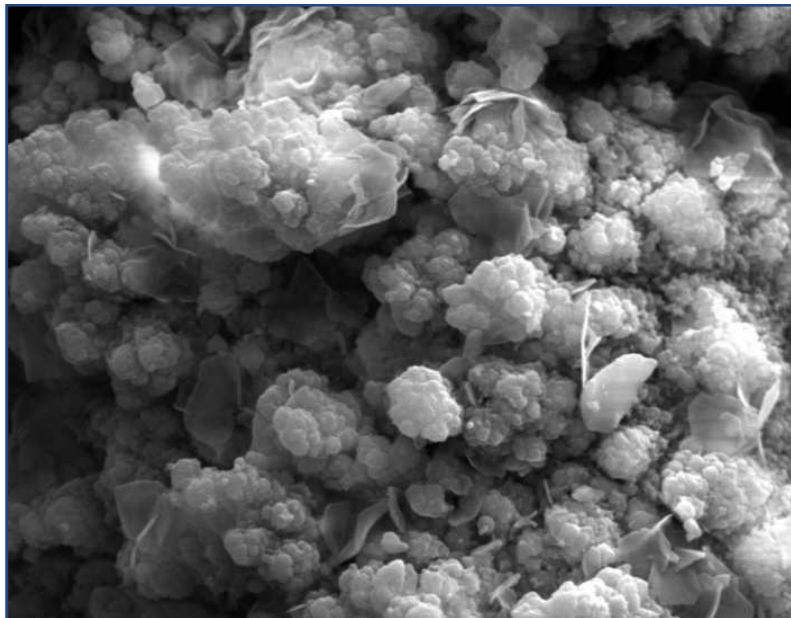
Кост

Хистологичен анализ
д-р Филипov медицински
факултет СУ „Св. Климент
Охридски»

Първоначални експерименти за синтез на нови материали

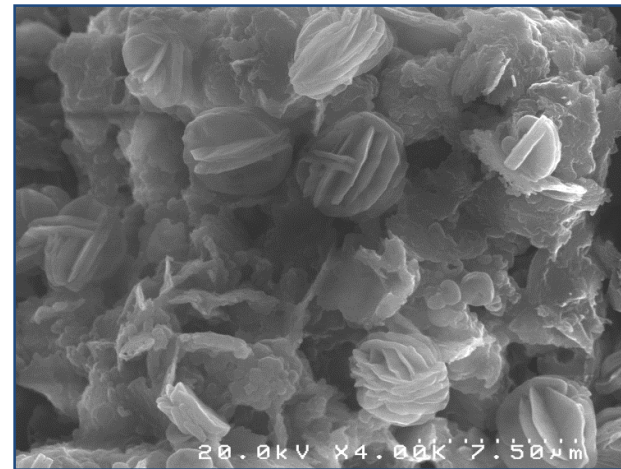
Борен Карбид B_4C - един от най-твърдите материали познат на човека, след кубичния борен нитрид и диаманта.

Прекурсор: Карборан ($C_2B_{10}H_{12}$)
Дължина на вълната: $3.26\mu m$
Енергия в импулс: $E_{th} = 1.37mJ$
Честота: 0.5 kHz



В сътрудничество с
Проф. Чарлс Люкхардт и
Др. Борислав Иванов
Университета Вандербилд

SEM снимки



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО



Софийски Университет "Св. Кирил и Методи"

Софийски Университет, 2014