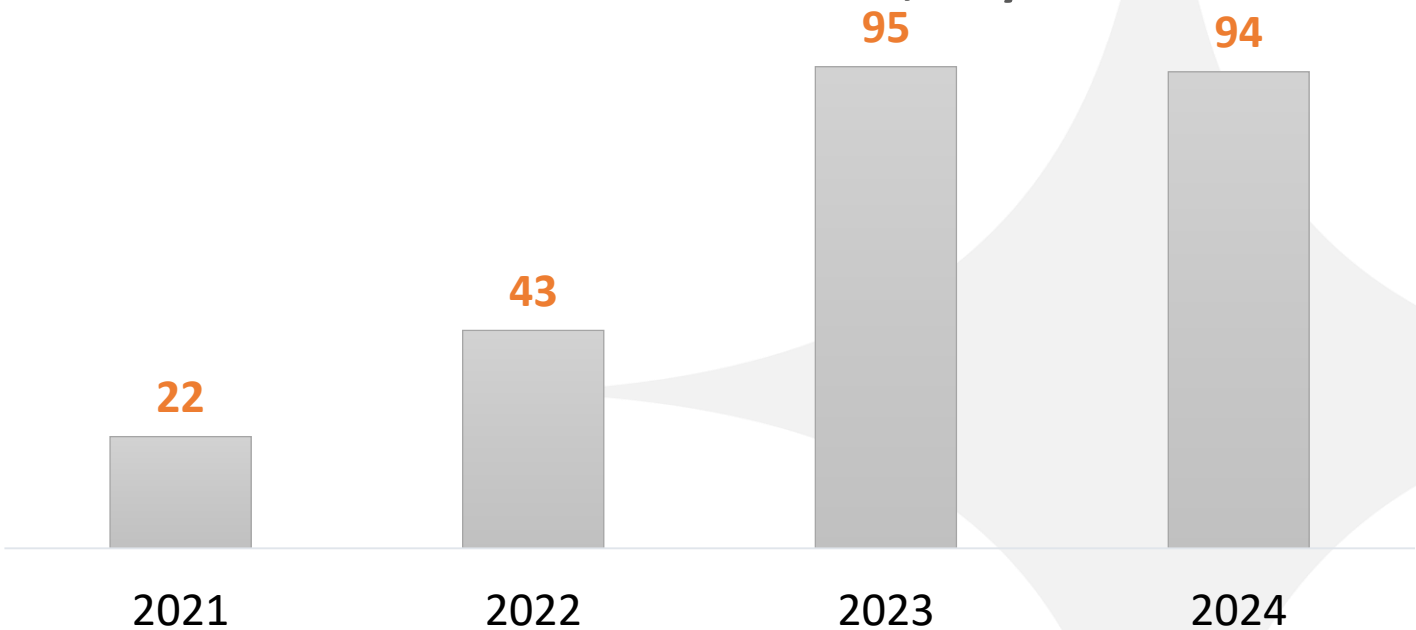


Эволюция лазерных систем: Новые возможности для аддитивного производства

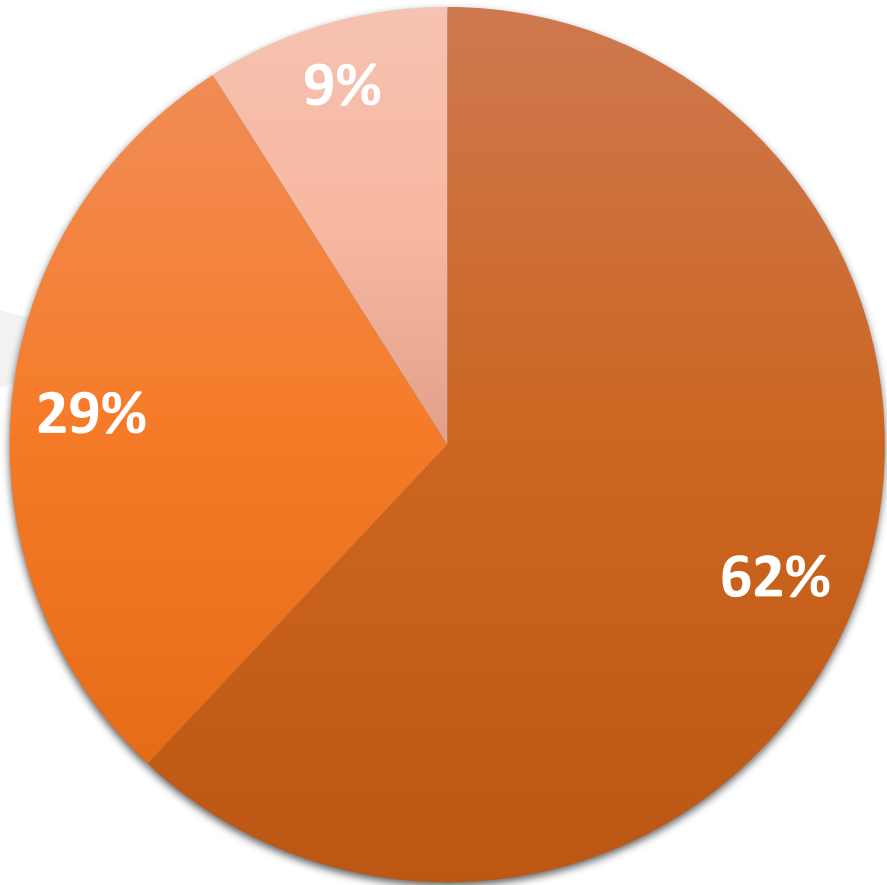
Ломакин И.А., Шмелев С.А.

Январь 2025

Количество реализованных 3D-принтеров в России в 2021-2024 гг., штук



Разделение установок по числу излучателей

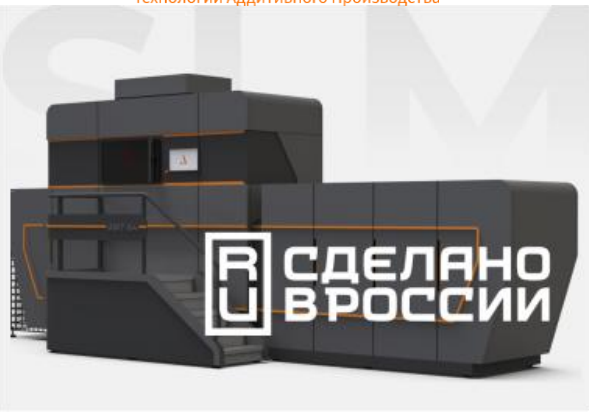


Объем поставок на российский рынок 3D-принтеров в 2024 г. в денежном и натуральном выражении

Российское производство			Импорт		
млн. руб	штук	ср. цена	млн. руб	штук	ср. цена
1886,4	69	27,3	1190,7	25	47,6

1 Лазер 2 Лазера 4+ Лазера

Отечественные производители SLM установок



600×600×1200 мм
12 лазеров 500 Вт



400×400×400 мм
4 лазера 500 Вт



650×650×650 мм
4 лазера 500 Вт



Ø318 x 400 мм
4 лазера 1000 Вт



Ø350 x 400 мм
6 лазеров 500 Вт



500×500×500 мм
4 лазера 1000 Вт



400×400×400 мм
4 лазера 500 Вт



280×280×250 мм
1 лазер 500 Вт



350×350×400 мм
4 лазера 1000 Вт



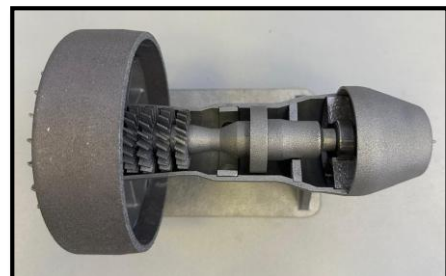
720×420×420 мм
8 лазеров 1000 Вт

ОДНОМОДОВЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ



YLR-500-U-R-SM2 & YLR-1000-U-R-SM2

Технологические результаты:



НОВИНКА 2025



Промышленные применения:

- Аддитивное производство
- Энергетическая промышленность
- Аэрокосмическая промышленность
- Транспортное машиностроение
- Автомобильная промышленность

Выходная мощность

500 / 1000 Вт

Диапазон изменения мощности

3 ... 100 %

Долговременная стабильность

< 1 %

Фронт вкл./выкл.

25 мкс

Задержка вкл./выкл.

50 ... 60 мкс (регулируемая)

Качество пучка

$M^2 < 1,1$

Основные китайские производители SLM



1500 × 1500 × 1200 мм
26 лазеров 500 Вт



1530 × 1530 × 1650 мм
16 лазеров 500 Вт



additive
MINDED



VP3
LASERONE



E-Plus-3D

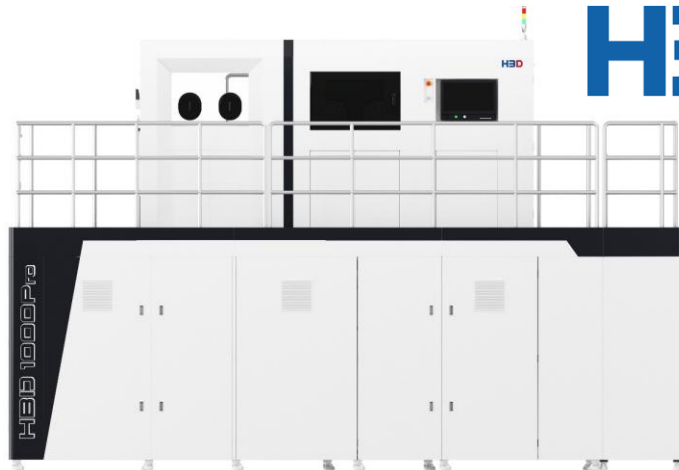


2050 × 2050 × 1100 мм
64 лазера 1 кВт



Kings
3D Printing

625 × 625 × 1100 мм
4 лазера 500 Вт



660 × 660 × 1250 мм
8 лазеров 500 Вт



ZRAPID



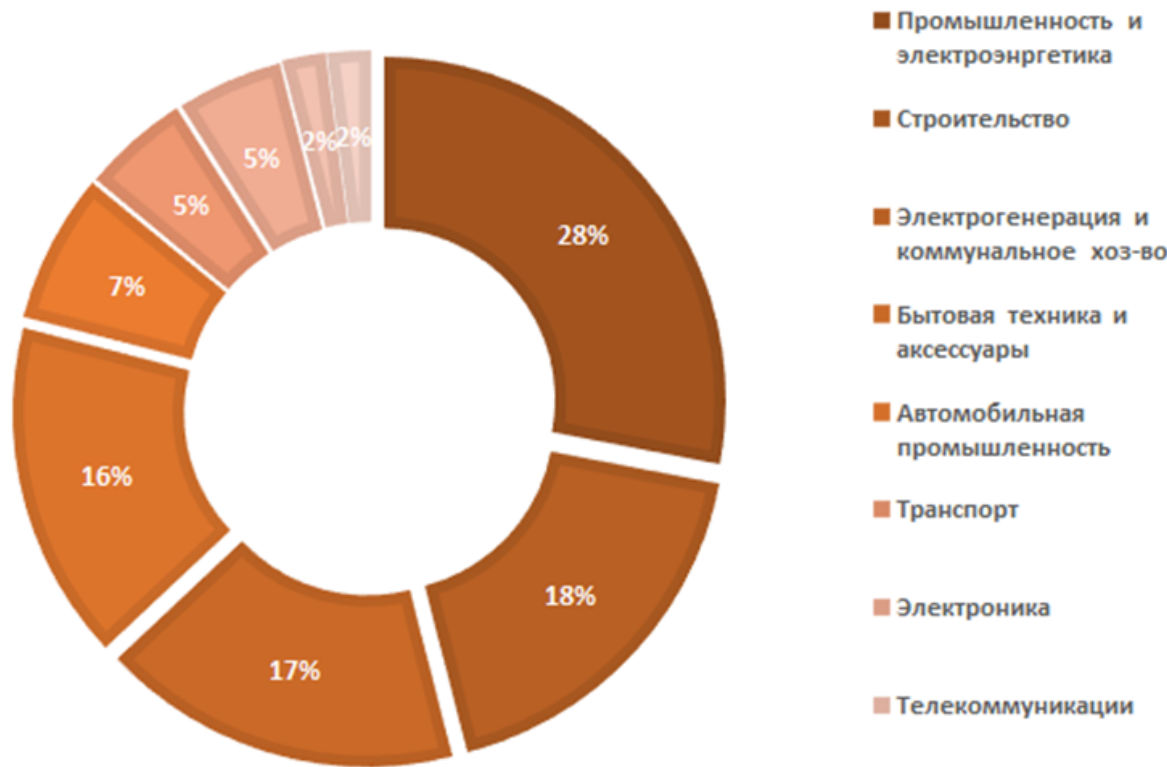
800 × 800 × 1000 мм
4 лазера 500 Вт

Конкуренты на рынке лазеров для SLM (Китай)

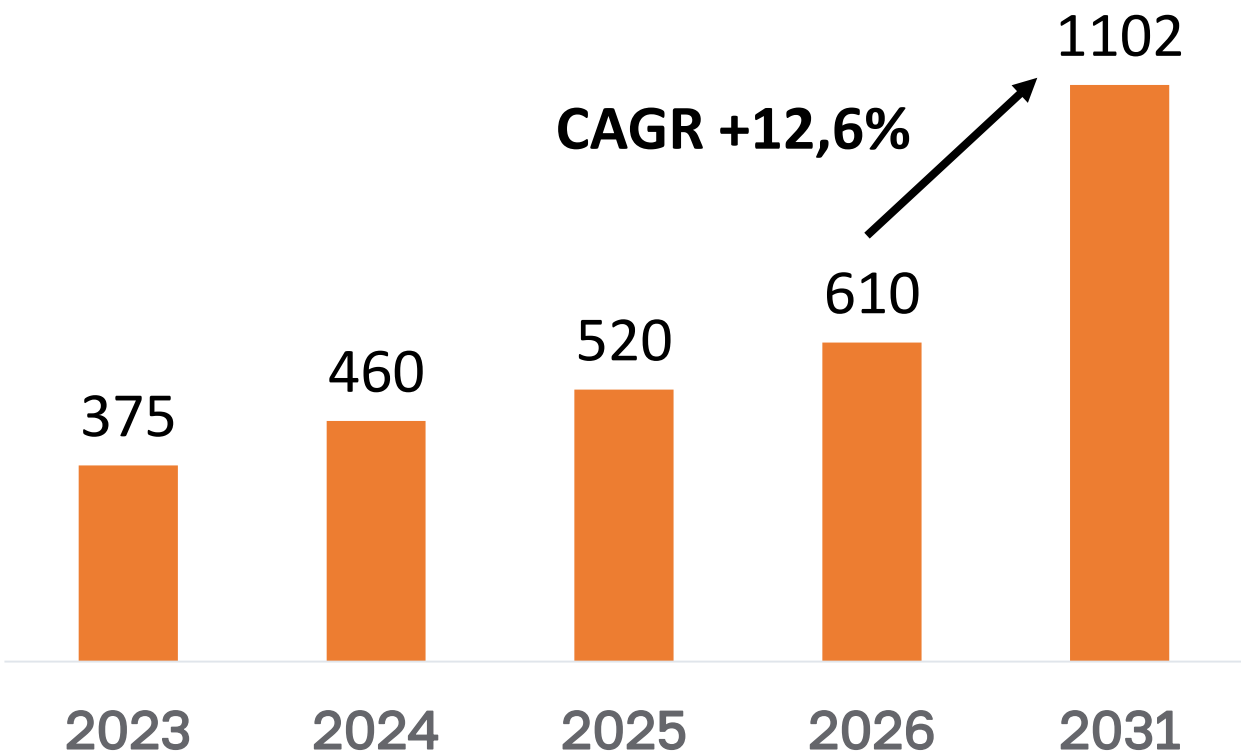


Параметр	VPG LaserONE YLR-500-U-R-SM2	Raycus RFL-C500AM	JPT YDFLC-500-SLM	Maxlaser BFSC 500M
P _{nom}	500w	500w	500w	500w
λ	1070±4 nm	1080±4 nm	1080±5 nm	1080±4 nm
Диапазон задания мощности	3-100%	10-100%	10-100%	8-100%
M2	≤ 1,1	≤ 1,1	≤ 1,2 (опционально 1,1)	≤ 1,15
Стабильность излучения	≤ 1 %	< 1%	< 2%	≤ 1,5%
Энергопотребление	1,4 кВт	1,5 кВт	1,8 кВт	1,5 кВт
Длина кабеля питания	3-5 м +	5 м +	8 м +	5 м +
Стоимость продажи, РФ	++	++	+	+

СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ МЕДИ

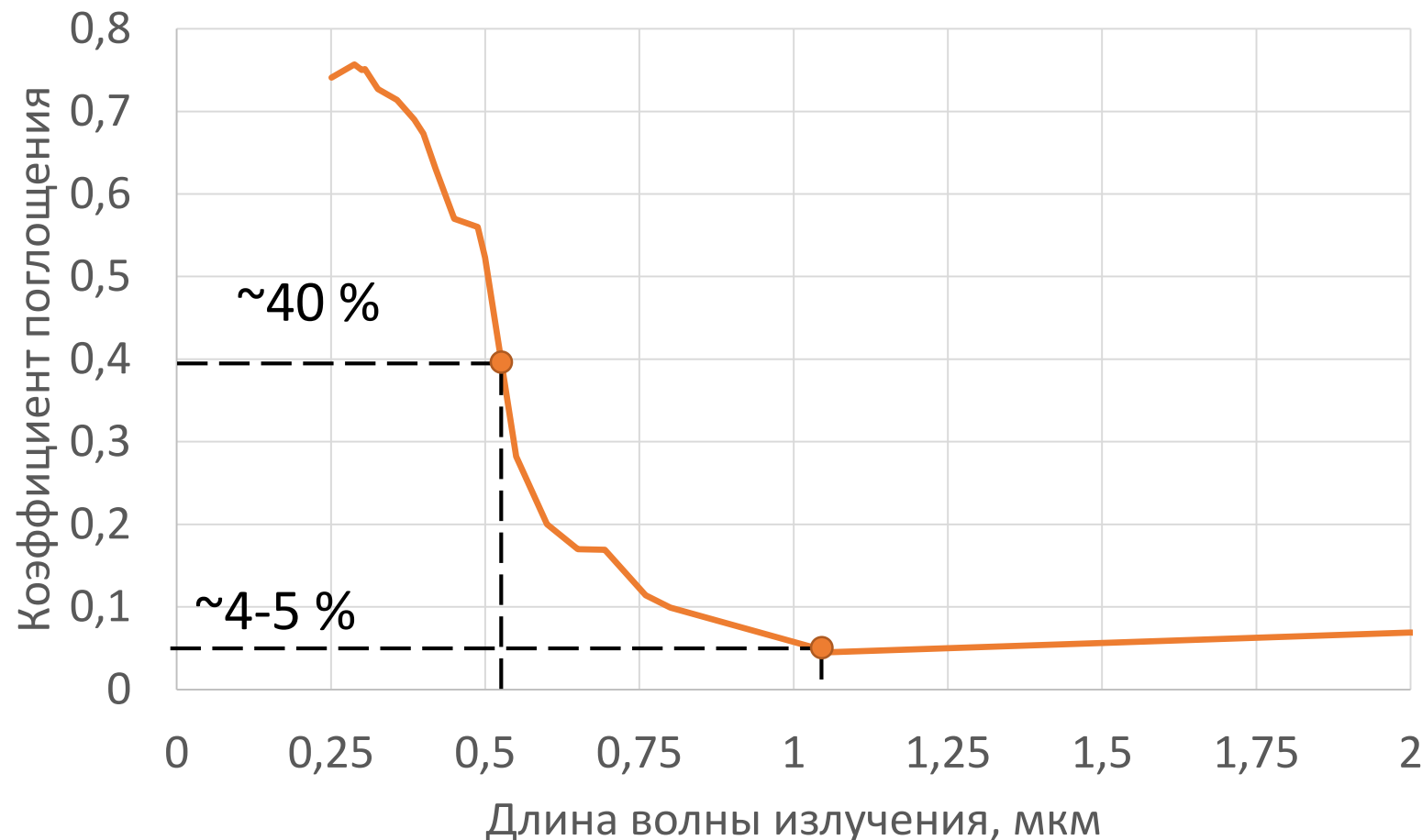


Объем рынка зеленых лазеров, млн. \$



Вывод:
Имеется потребность изготовления из медных сплавов деталей сложной формы, для которых применимы процессы SLM

Особенности лазерной обработки медных сплавов



Высокий коэффициент отражения в ИК-части спектра:

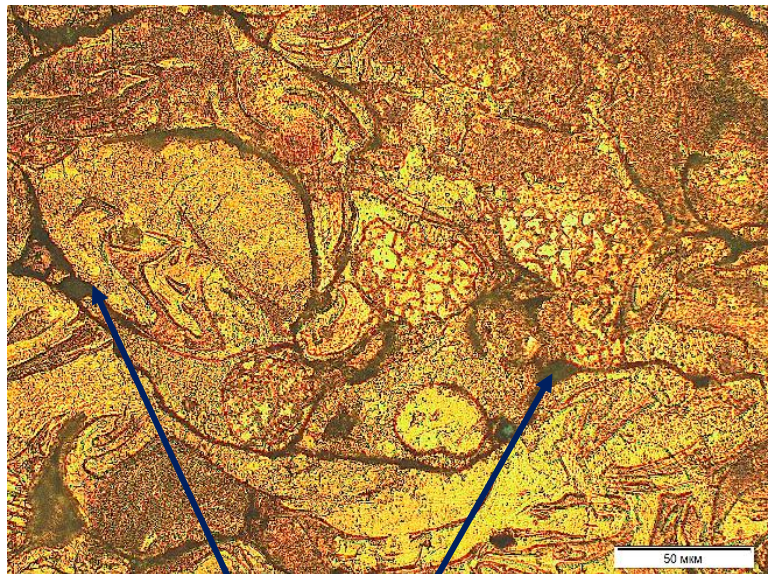
- Высокий уровень обратного отражения, риск повредить оптику
- Низкая эффективность использования излучения

Возможные пути решения:

- ✓ Использование поглощающих покрытий (для аддитивных процессов не подходит)
- ✓ Применение лазерных источников с меньшей длиной волны излучения

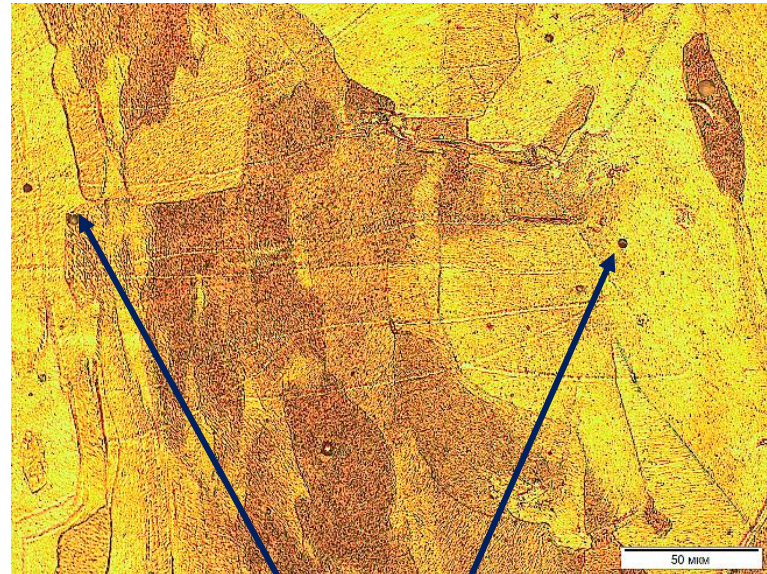
Особенности лазерной обработки медных сплавов

Чистая медь, СЛП



Несплавления

Сплав БрХ-1, СЛП



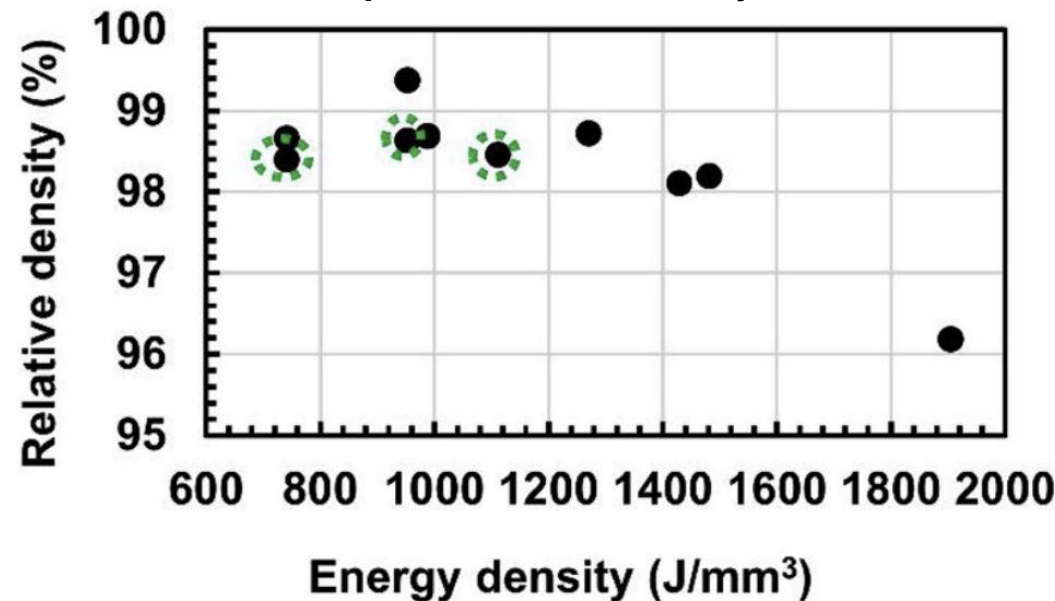
Поры

- Высокая склонность медного сплава к окислению
- Окисленный порошок имеет коэффициент поглощения в ИК области около 20 %, жидкая медь – около 16 %
- Неравномерность поглощения приводит к нестабильности процесса
- Развитие эффектов сферидизации
- Возникают дефекты при аддитивном производстве изделий

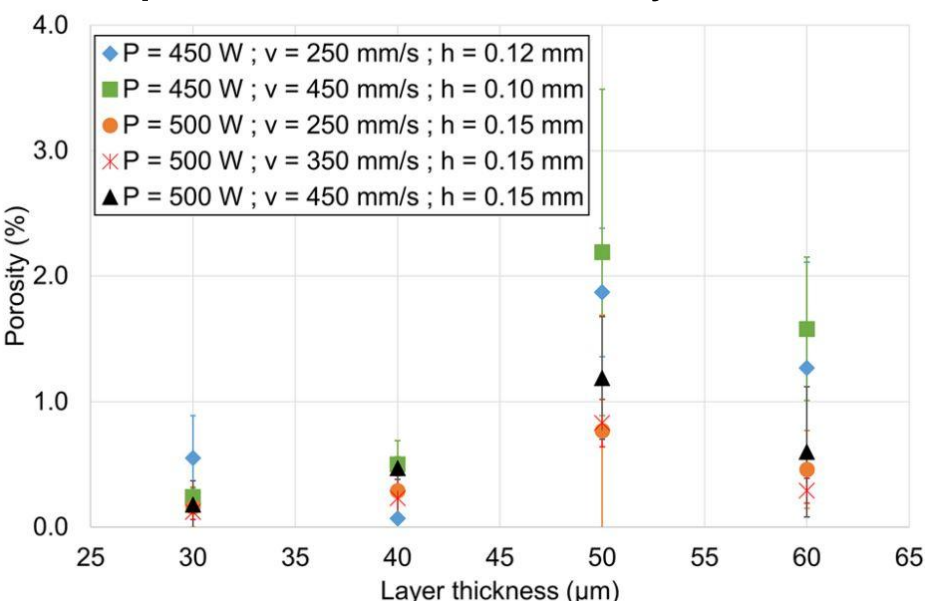
Особенности лазерной обработки медных сплавов



Обработка ИК излучением



Обработка зеленым излучением

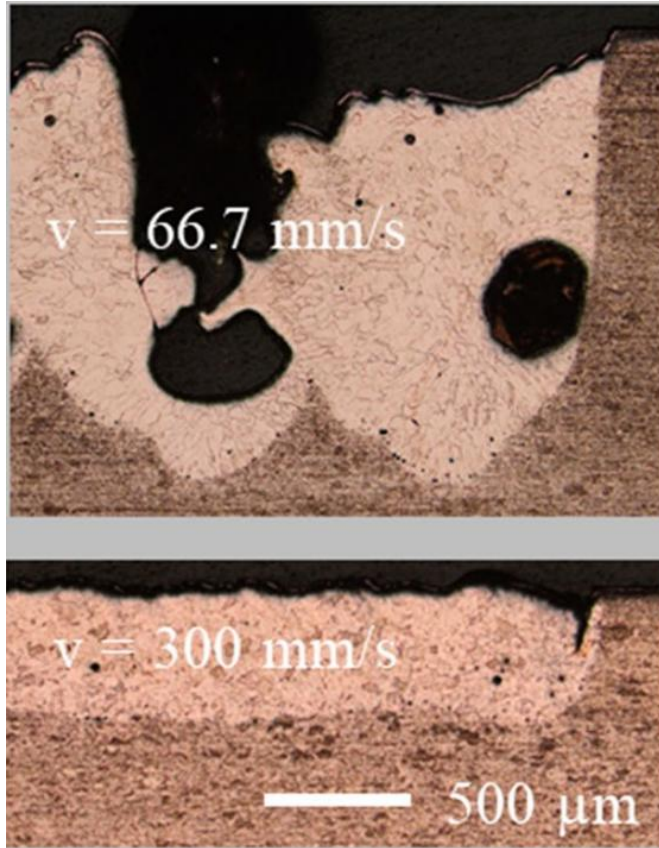


Параметр	ИК излучение	Зеленое излучение
Максимальная плотность	99 %	99,4 %
Мощность излучения	800 Вт	500 Вт
Скорость обработки	400 мм/с	450 мм/с
Диаметр луча	70 мкм	200 мкм
Толщина слоя	30 мкм	30 мкм

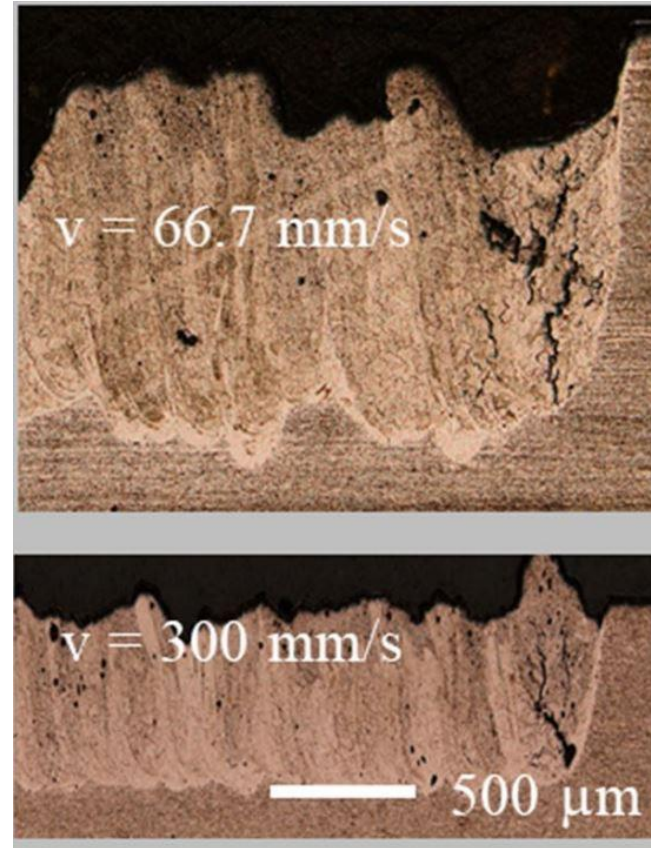
Вывод: производительность в 2 и более раза выше при использовании зеленого излучения

Источник: Domine, A., Verdy, C., Penaud, C. et al. Selective laser melting (SLM) of pure copper using 515-nm green laser: from single track analysis to mechanical and electrical characterization. Int J Adv Manuf Technol (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12338-5>

Другие применения – сварка медного сплава



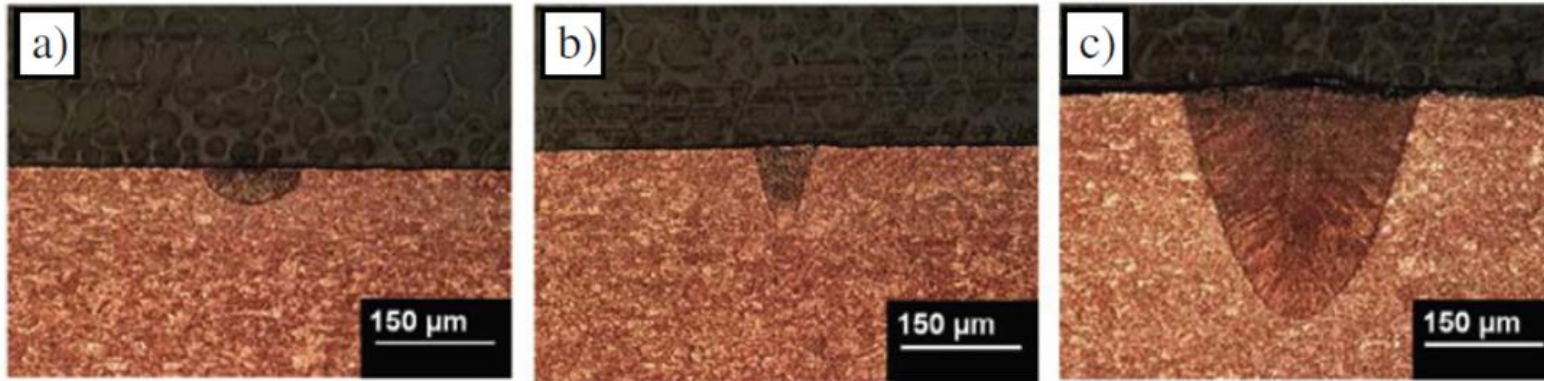
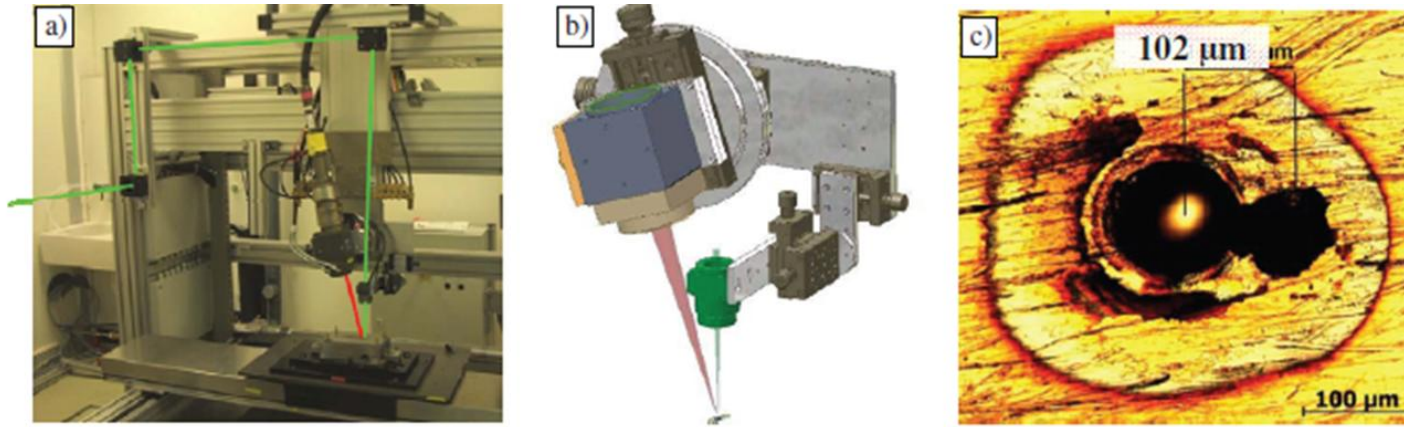
Лазерная сварка, длина волны 1030 нм, мощность излучения 3 кВт, сплав Cu-ETP



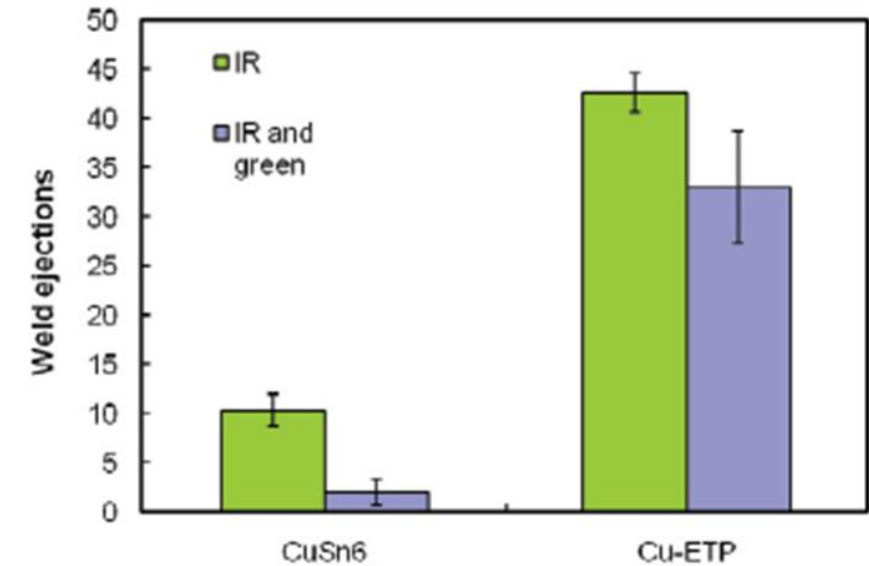
Лазерная сварка, длина волны 515 нм, мощность излучения 2 кВт, сплав Cu-ETP

Вывод: использование «зеленого» излучения позволяет увеличить глубину проплавления, но снижается качество поверхности. Целесообразно использовать одновременно излучение в зеленом и инфракрасном диапазонах

Сварка меди ИК+Зеленое излучение



Сечения сварных швов из бронзы (CuSn6) при $v = 25$ м/мин
а) ИК = 500 Вт;
б) зеленый = 70 Вт;
с) Комбинированный: зеленый = 70 Вт и ИК = 430 Вт.



Уменьшение подсчитанных выбросов сварного шва в сварном шве длиной 80 мм при использовании дополнительного зеленого лазера при $v = 6$ м/мин.

ЛАЗЕРНЫЙ ИСТОЧНИК НЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОГО СПЕКТРА 535 нм



GLR-535

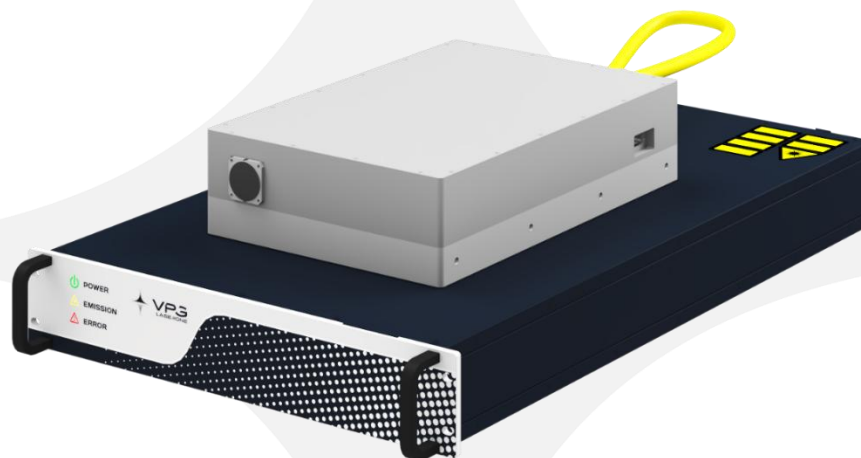
До 10 раз активнее поглощается медью и золотом. По результатам тестирования зеленого лазера получены образцы плотностью выше 90%

Применения:

- СЛП и сварка меди.
- Производство деталей систем охлаждения, антенн, электропроводящих компонентов.



НОВИНКА 2025



Длина волны

535 нм

Максимальная средняя
мощность

200 Вт

Качество пучка

$M^2 < 1,3$

Эллиптичность пучка

> 90%

Коэффициент поглощения*

До 40%

Стабильность излучения

$\pm 2\%$

Охлаждение

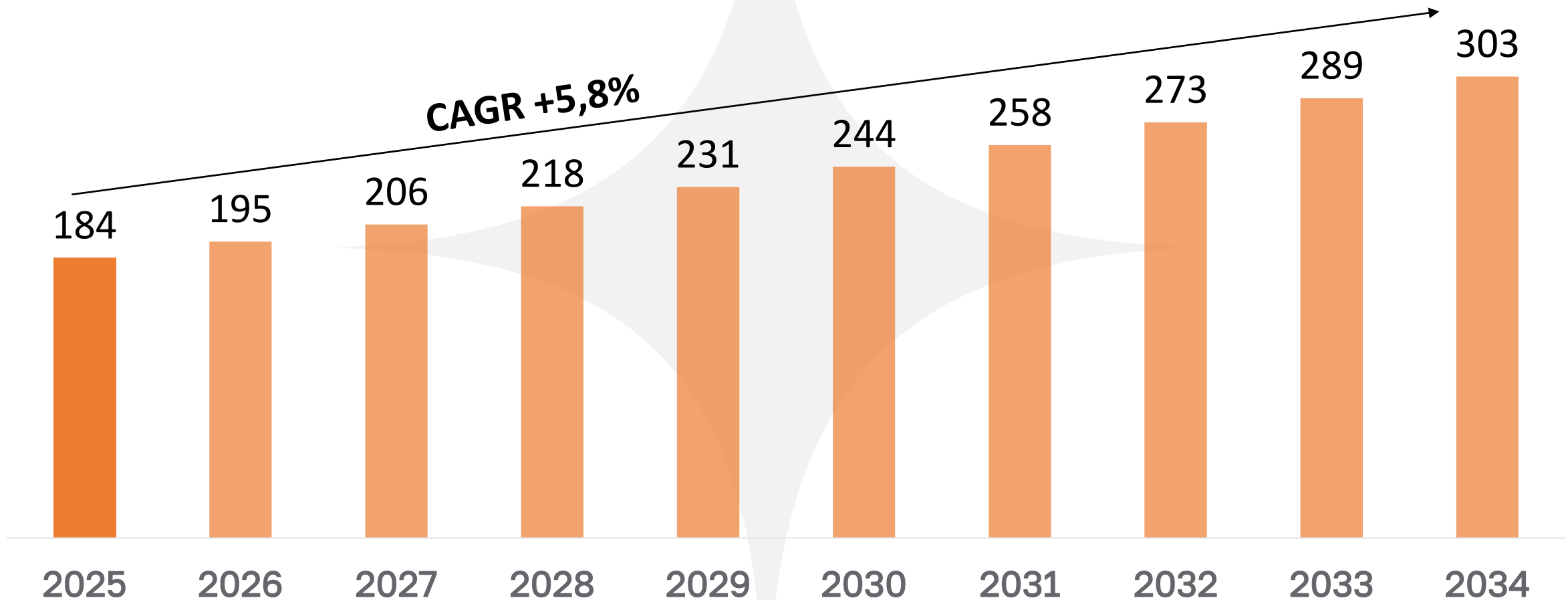
Водяное

* Для меди и медных сплавов 13

Мировой рынок 3D-принтеров с УФ-источниками



Мировой рынок установок с УФ-источниками, млн. \$



Источник: Global Market statistics

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕР МАЛОЙ МОЩНОСТИ 355 нм



ULP-355-200-20-5

Лазерный источник ULP-355-200-20-5 генерирует излучение на длине волны 355 нм, что соответствует ультрафиолетовому излучению.

Ультрафиолетовые импульсные лазеры малой мощности широко применяются в аддитивных технологиях, маркировке, микрообработке, обеспечивая прецизионную обработку широкого спектра материалов для различных отраслей промышленности

ПРИМЕНЕНИЯ:

- Отверждение полимера лазерным излучением (стереолитография)
- Маркировка пластика, стекло, микрообработка тонких пластин (фольга, кремний)
- Микрообработка материалов, проекционное экспонирование полупроводников

НОВИНКА 2026



Длина волны

355 нм

Максимальная средняя мощность

5 (10) Вт

Качество пучка

$M^2 < 1,2$

Частота следования импульсов

от 25 кГц

Коэффициент поглощения*

До 40%

Охлаждение

Воздушное

