# *Laser Aided Manufacturing*

***Peiman Mosaddegh, Ph.D.***

Isfahan University of Technology

Fall 2020

# What is LASER?

- It is an aberration for:
- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- **تقویت نور توسط تشعشع تحریک شده**

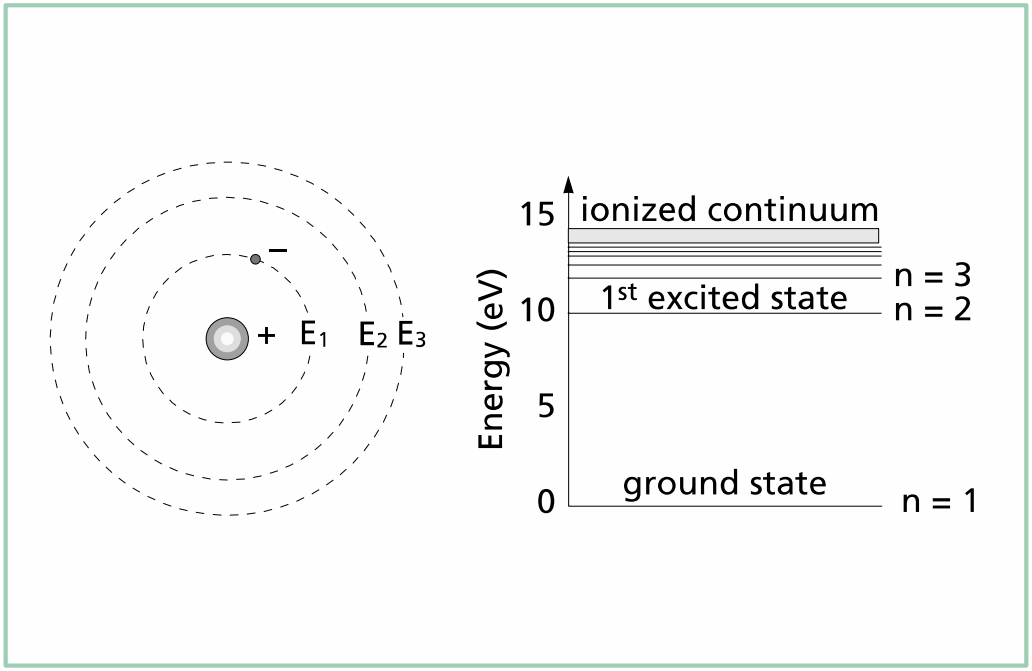
ماشین کاری با اشعه لیزر بر اساس تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی نورانی و سپس انرژی حرارتی بنا نهاده شده است.

**به سه دسته تقسیم میشوند:**
**1- لیزرهای حالت جامد**
**2- لیزرهای حالت مایع**
**3- لیزرهای حالت گازی**

# The Bohr Atom

In this model, electrons can go from one level to another level, but they cannot stay between them. That makes the "quantum energy states."

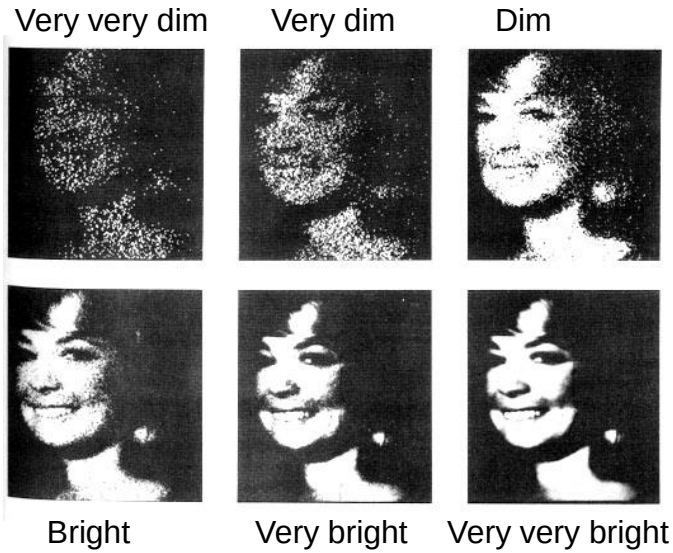
For an electron to jump to a higher quantum state, the atom must receive energy from the outside world. Likewise, when an electron drops from a higher state to a lower state, the atom must give off energy.




Bohr's atom and simple energy level diagram

# *Light is not only a wave, but also a particle*

Photographs taken in dimmer light look grainier.




When we detect very weak light, we find that it's made up of particles. We call them photons.

# Photons and Energy

Photons are particles of zero mass. They have the characteristics of both wave and particle. Each photon has an intrinsic energy determined by the equation:

$$E = h\nu$$

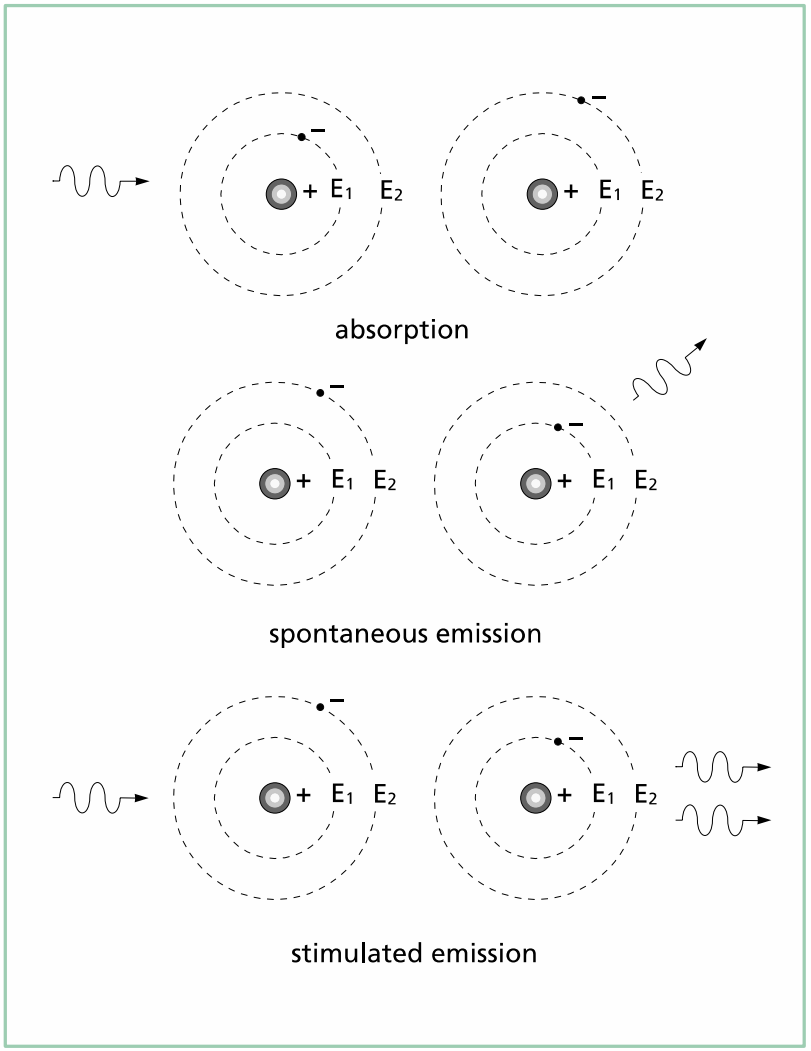
There $\nu$ is the frequency of the light and $h$ is Planck's constant. Since, for a wave, the frequency and wavelength are related by the equation:

$\lambda\nu = c$

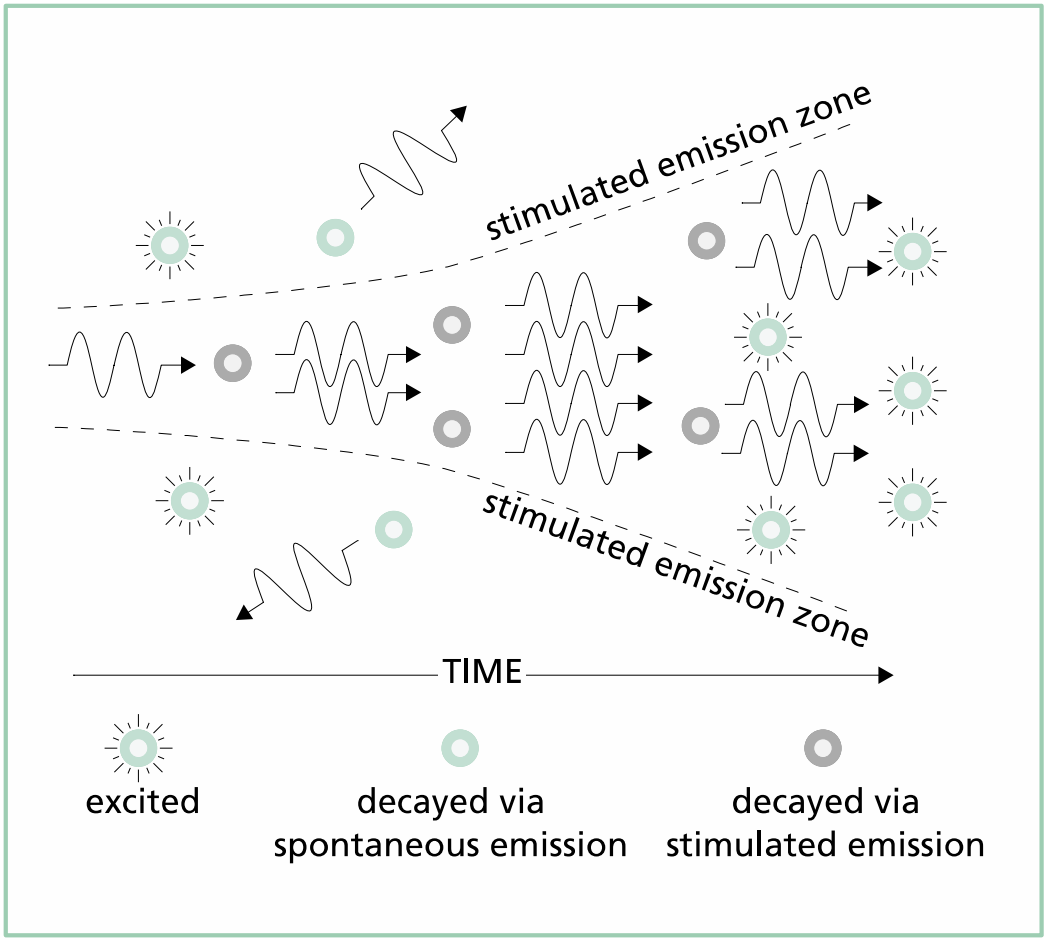
where λ is the wavelength of the light and c is the speed of light in a vacuum. Therefore:

$$E = \frac{hc}{l}$$

# Spontaneous and stimulated emission



# Amplification by stimulated emission



**Lasing Medium:**

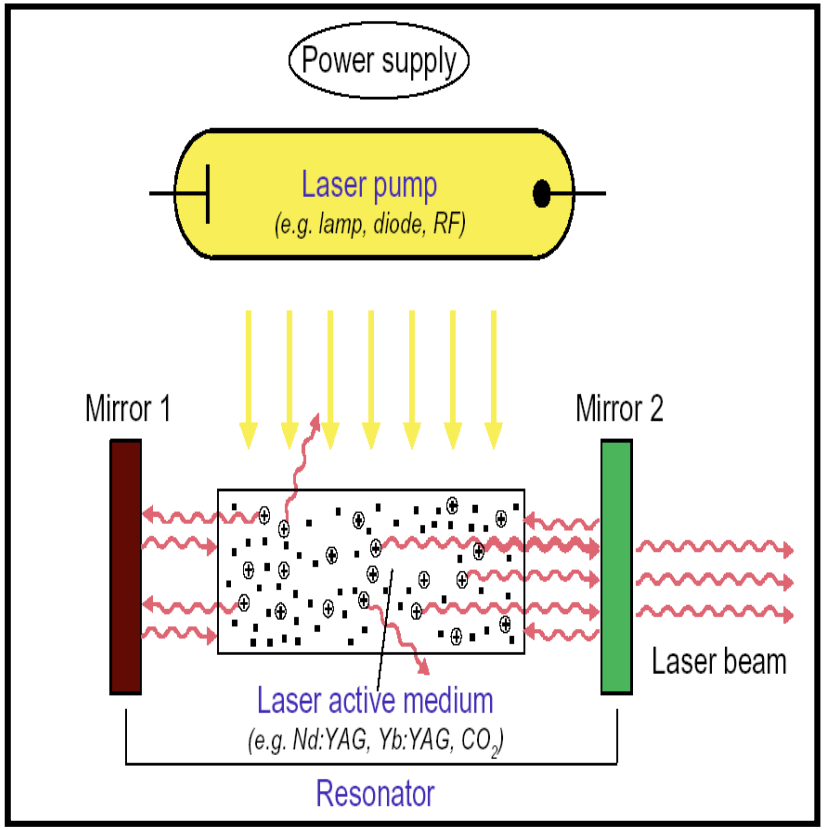
**Provides** appropriate **transition** and **Determines** the **wavelength**

**Pump:**

**Provides** **energy** necessary for **population inversion**

**Optical Cavity:**

**Provides** opportunity for **amplification** and **Produces** a **directional** beam (with defined length and transparency)



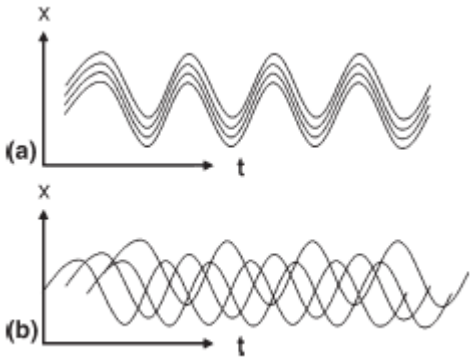
# Properties of Laser beam

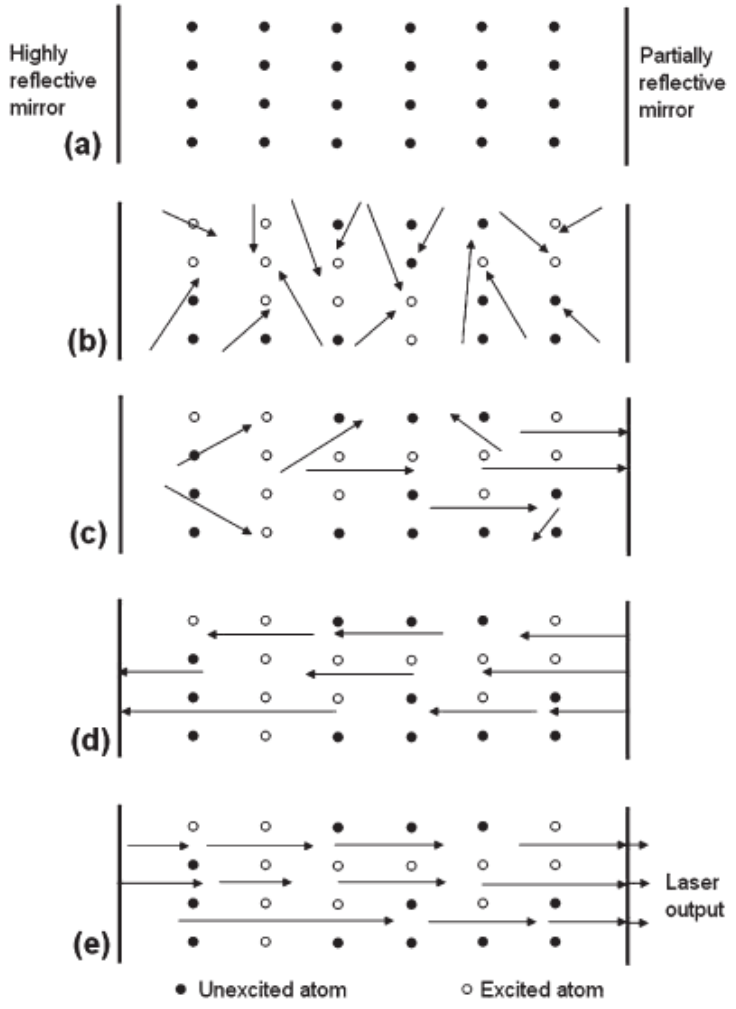
**Coherent** (synchronized phase of light)

**Collimated** (parallel nature of the beam)

**Monochromatic** (single wavelength)

**High intensity** (~$10^8 W/cm^2$)



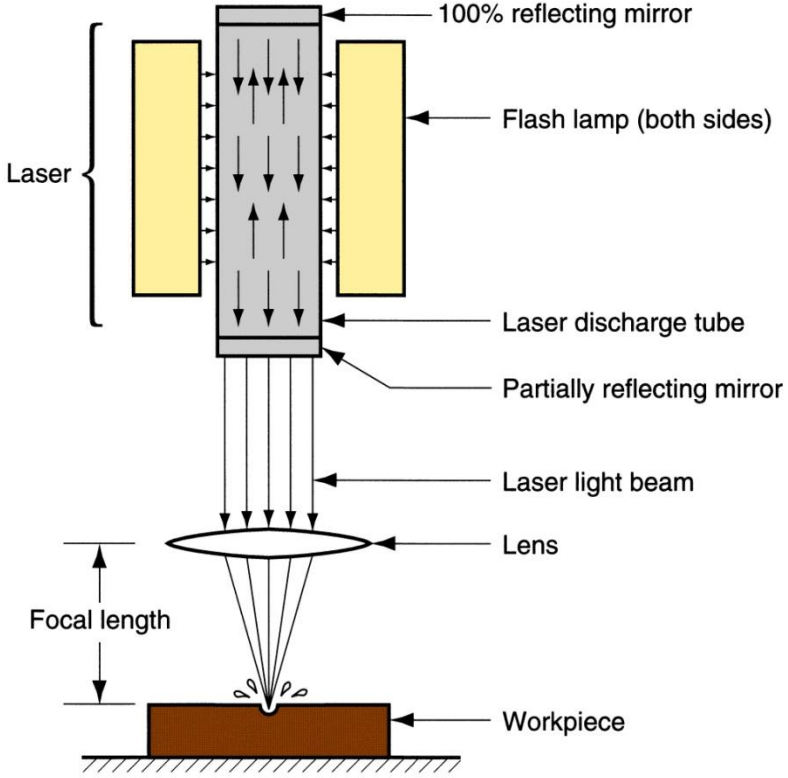



# Laser Beam Machining (LBM)

- Uses the light energy from a laser to remove material by vaporization and ablation

❖ Properties

- Monochromatic ( تک رنگ)(theoretically, single wave length)
- Highly collimated (light rays are almost perfectly parallel)
- Allows laser light to be focused, using optical lenses, onto a very small spot with resulting high power density (10^8 W/cm2)

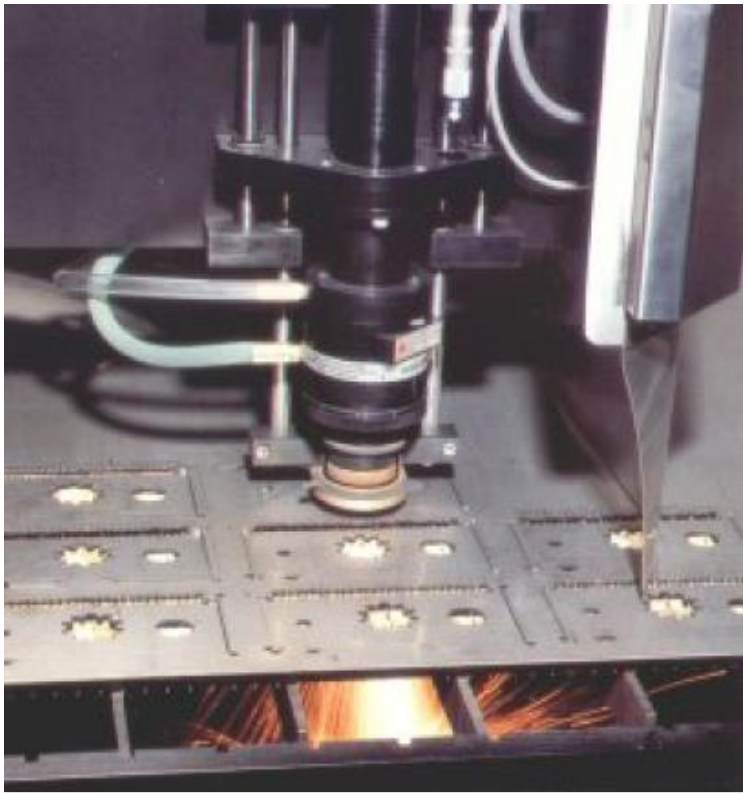


# Laser Beam Machining (LBM)

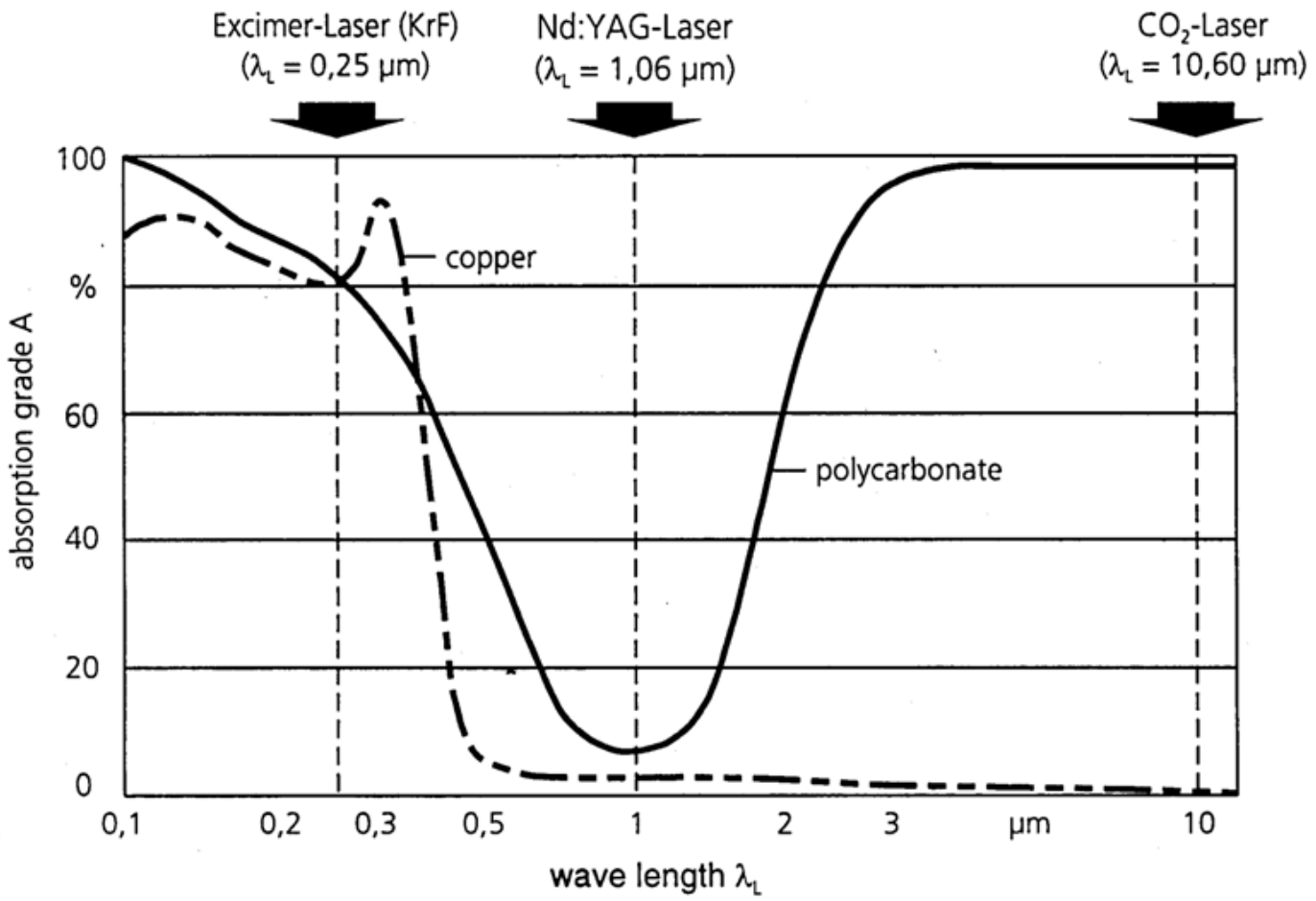
• Particles removed by vaporization

• Work materials should have:
- high thermal conductivity
- minimal thickness

• Used for...
Laser Marking (scribing)
Laser Cutting
Laser Drilling
Laser Surface Treatment
Laser Cladding
Direct Laser Fabrication
Laser Forming
Laser Welding

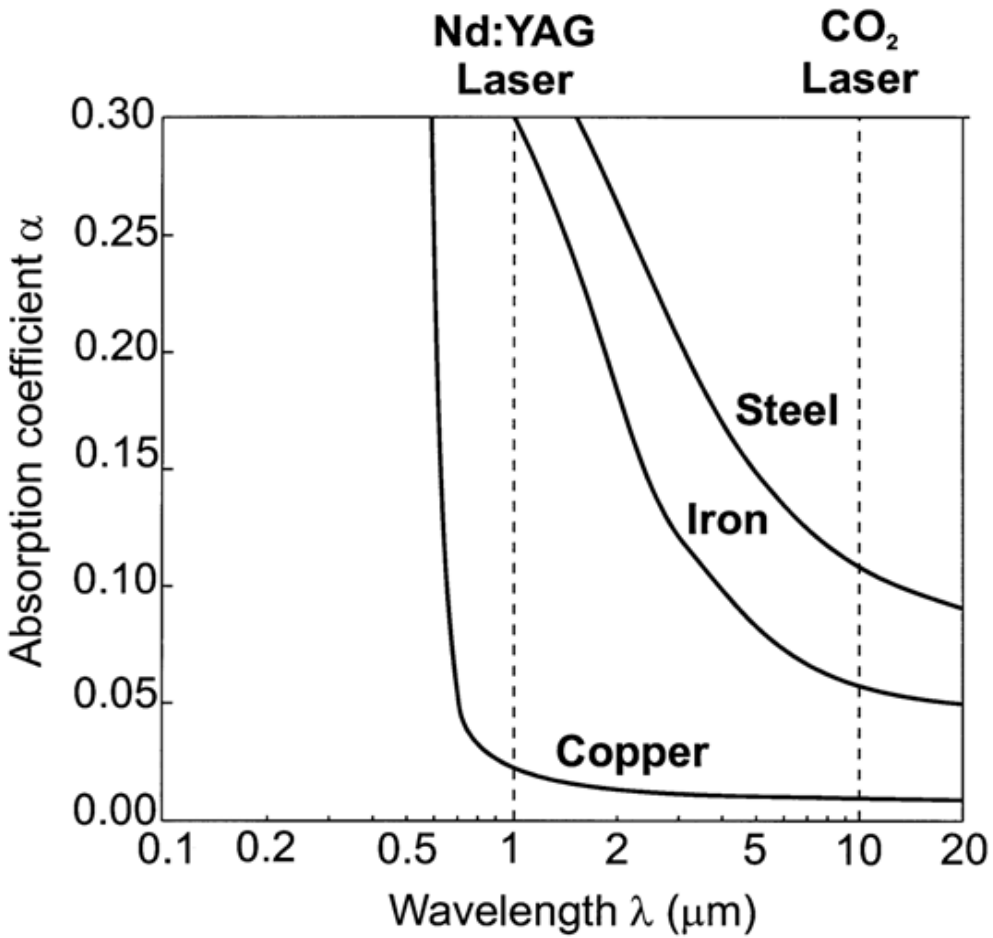


# Laser absorption

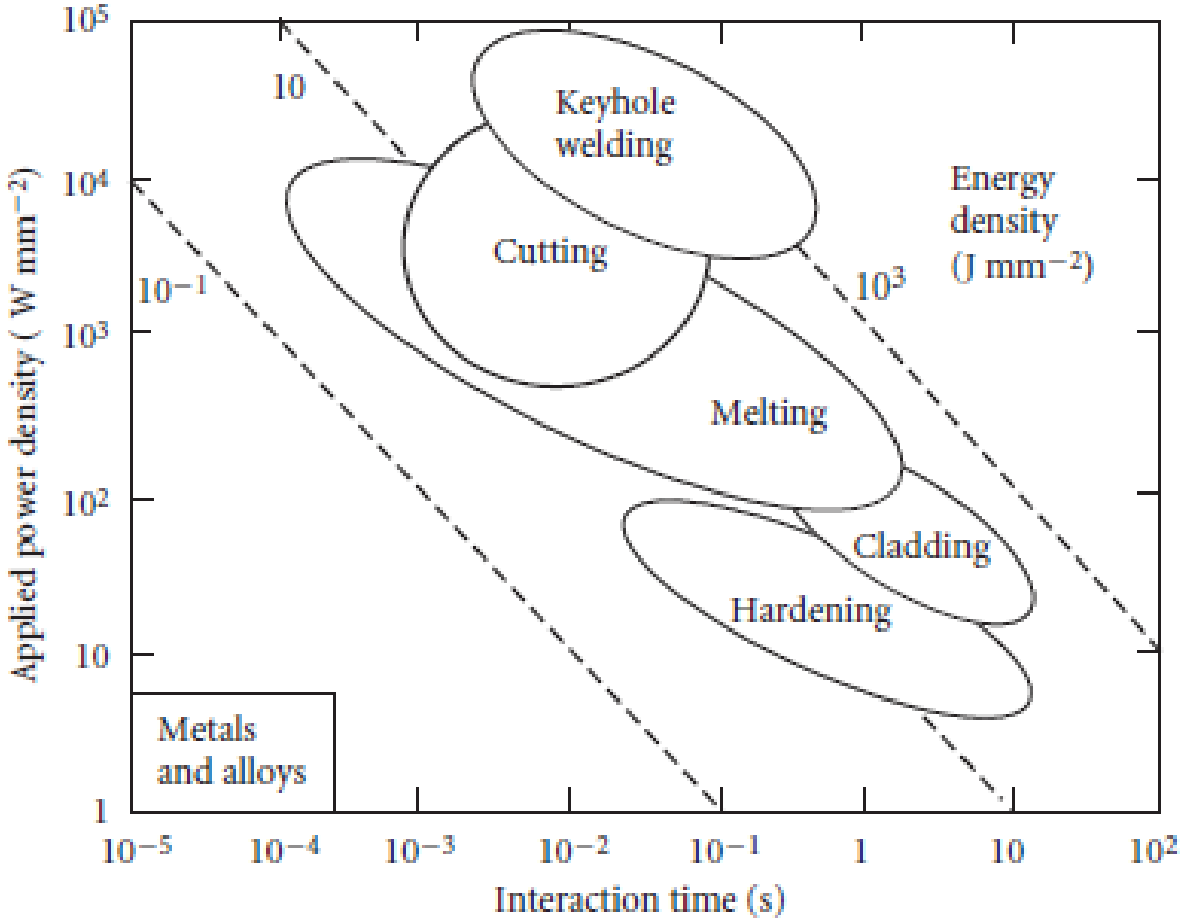



به طور کلی بازتابش فلزات برای لیزرهای Nd:Yag در مقایسه با لیزرهای Co2 کمتر است

# Laser Absorption vs Wavelength

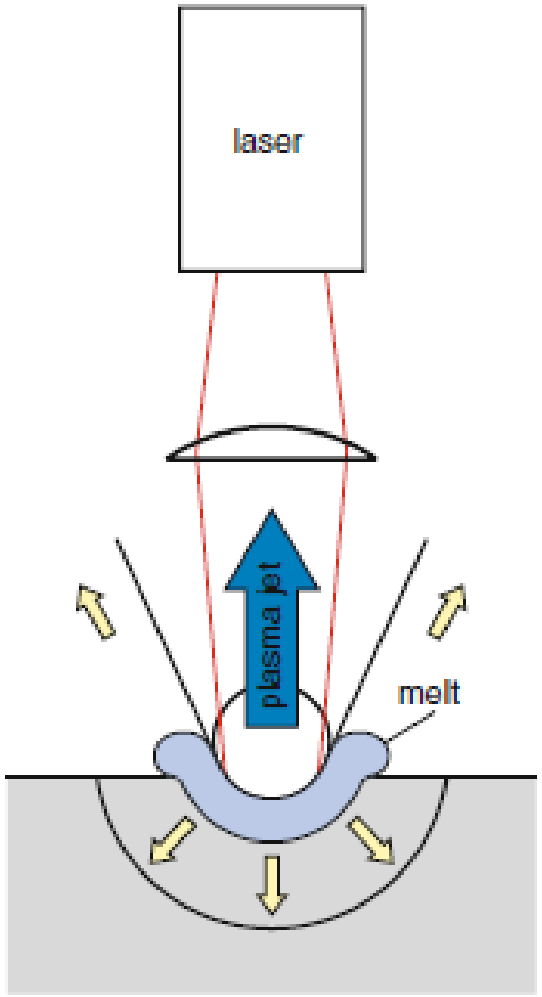


# Operational regimes for laser material processing




From R. wester

# Effective Parameters In Laser Material Processing




**laser beam**
wavelength
power
pulse duration
beam quality
polarization
mode order
spatio-temporal fluctuations

**beam shapping**
focus length
aperture
aberrations

**material properties**
absorption
heat conductivity
density
heat capacity
melt enthalpy
evaporation enthalpy
work piece geometry

**dynamical processes**
melt:
- surface tension
- viscosity

vapor:
- vapor density
- electron density
- temperature (and gradients)
- plasma absorption

From R. wester

# LASER PROCESSING APPLICATIONS

- Laser Marking
- Laser Cutting
- Laser Drilling
- Laser Surface Treatment
- Laser Cladding
- Direct Laser Fabrication
- Laser Forming
- Laser Welding

# Laser Marking

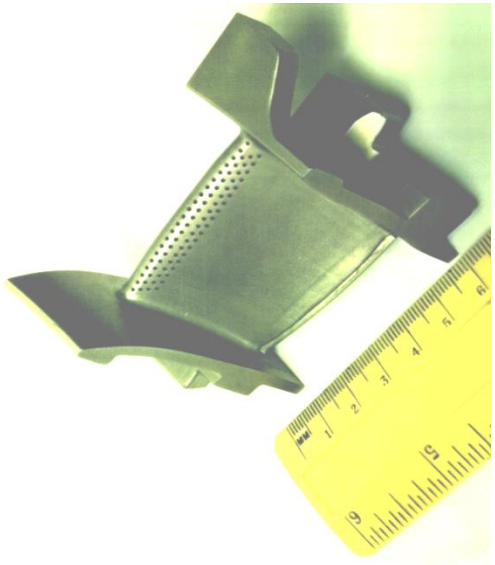
- **The worlds largest laser application**
- **Relevant to all sectors**
- **Almost any material can be marked with laser**

It is the best solution to engrave on Ti, SS, Al, .. Specially for application in medical devices

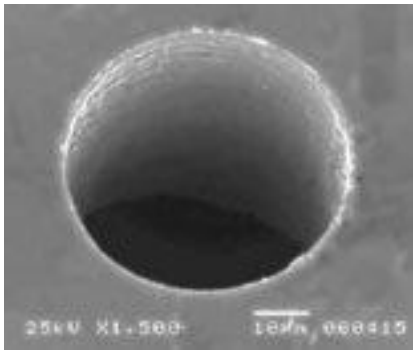
# Laser Cutting

- Application to a wide range of materials and thickness
- Narrow kerf widths
- High speeds
- Very high repeatability
- Very high reliability
- Easily automated and programmable
- Flexibility in changeovers
- Reduced tooling costs and setup times
- Non-contact process
- Versatility (same tool for welding)
- 3D cutting
- Cloths and plastic cutting

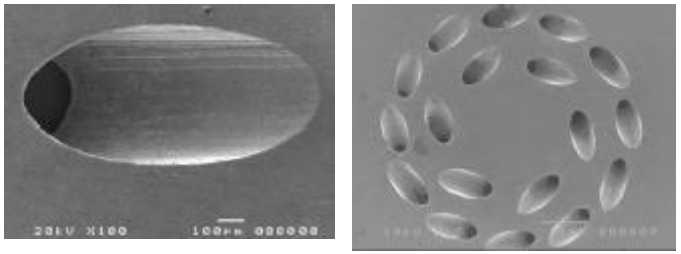
# Laser Drilling



- Hole diameters dependent on laser source
- Trepanning: small / large holes > 0.6mm
- Precision: small holes < 0.6mm
- Advantages of Trepanning
- Shaped holes
- Advantages of Percussion
- Drilling on the fly



***50 μm diameter hole in steel***

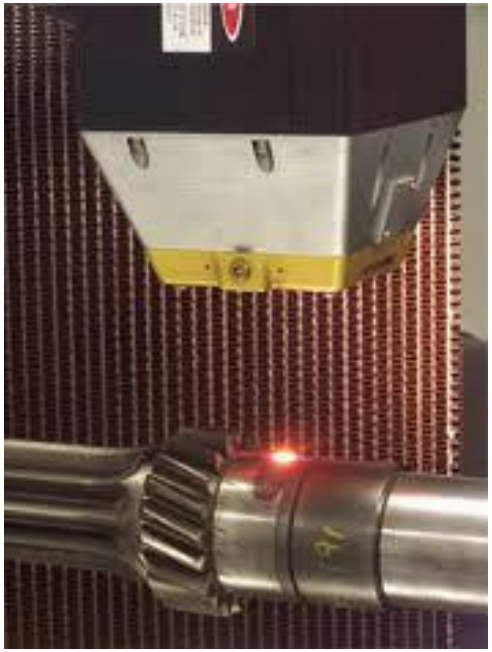


***Laser drilled injector holes, 60 Deg***

# Laser Surface Treatment

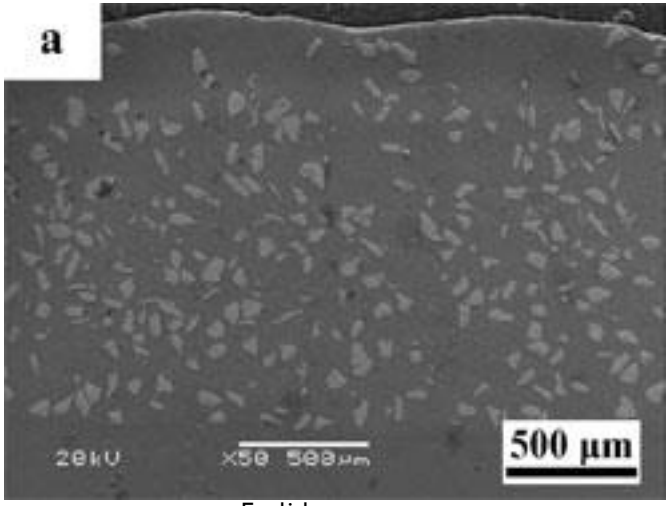
Three main processes: hardening, melting, cladding

Laser Transformation Hardening



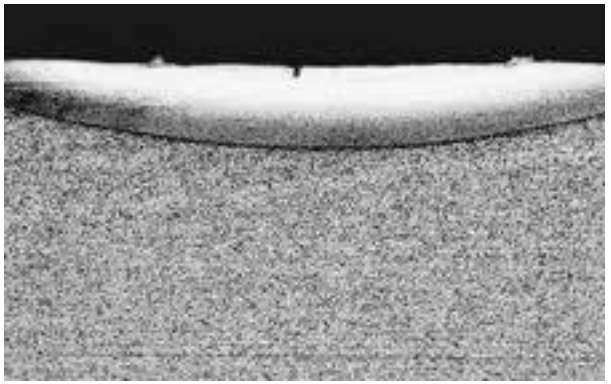
http://www.laser-industrial.com/

Laser Cladding of Metal-Ceramic Composite



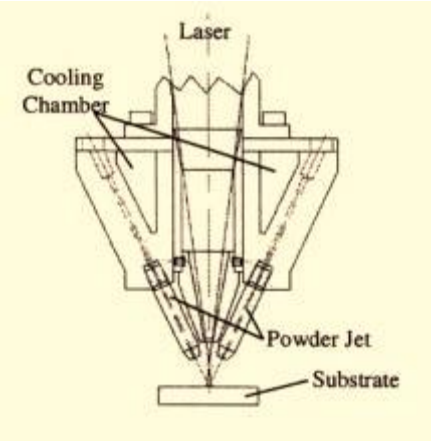

English.cas.cn

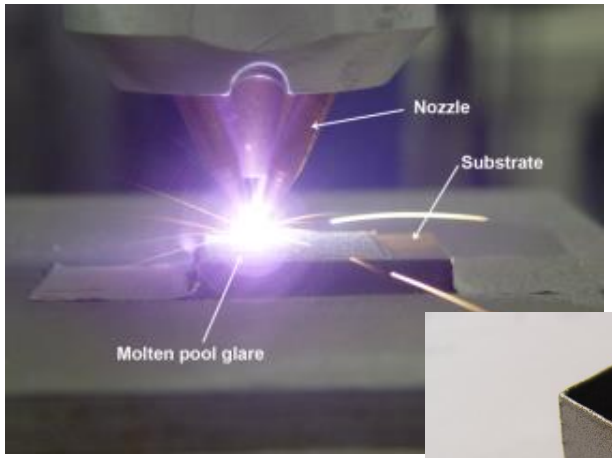
Laser Surface Melting

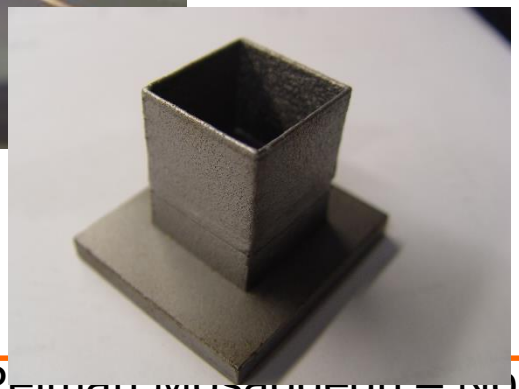


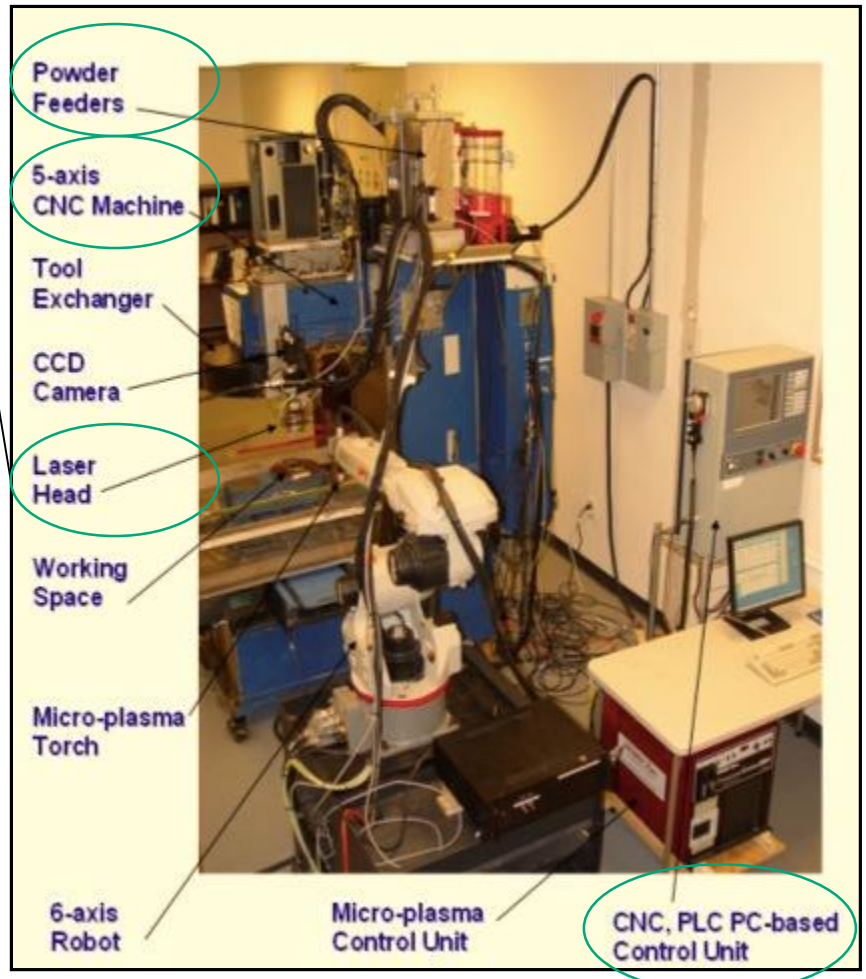
http://www.gsiglasers.com/

# Direct Laser Fabrication



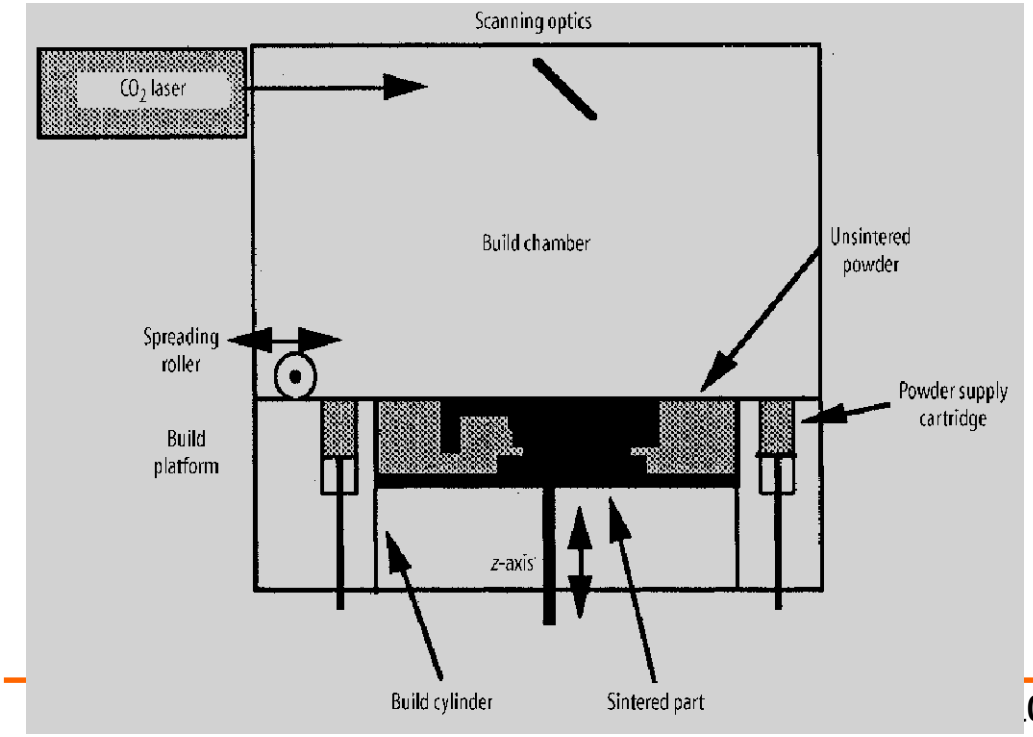


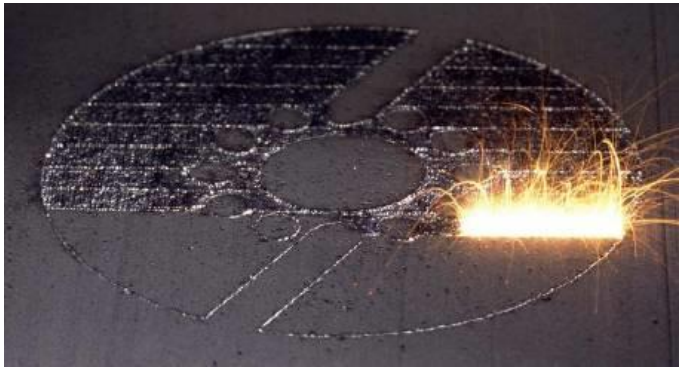





# Selective Laser Sintering

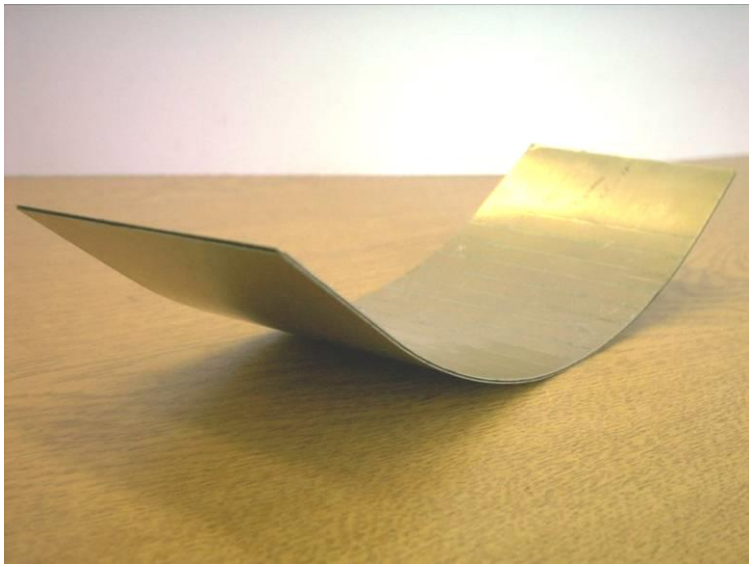
- Parts built up layer by layer
- A laser beam selectively melts powder into a designated shape
- The component sinks into the bed, a layer of powder is deposition above the component
- The process repeats until the component is finished



# Laser Forming

- Bending metal with light
- Laser beam induces thermal stresses
- The plate expands, cools and contracts
- The flat plate deforms into a new shape



# Laser Welding

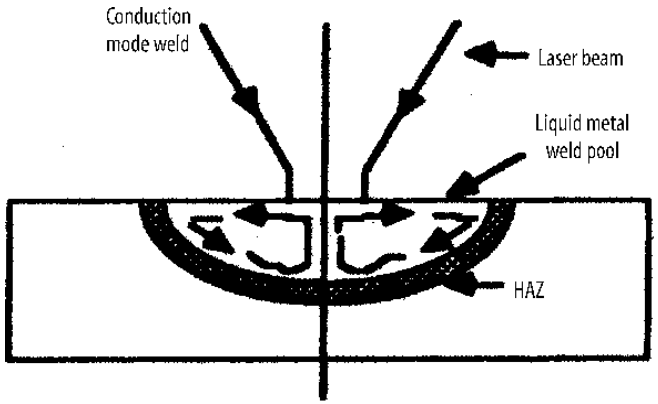
Laser Welding Modes

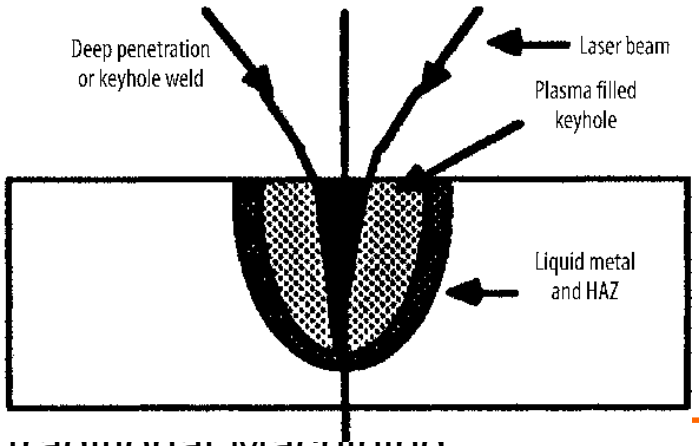
- Conduction Welding
- Deep Penetration Welding (Keyhole Welding)

**Conduction Welding:** the power density is insufficient to cause boiling and therefore generate a keyhole. The weld pool has strong stirring forces driven by Marangoni-type forces resulting from the variation in surface tension with temperature.

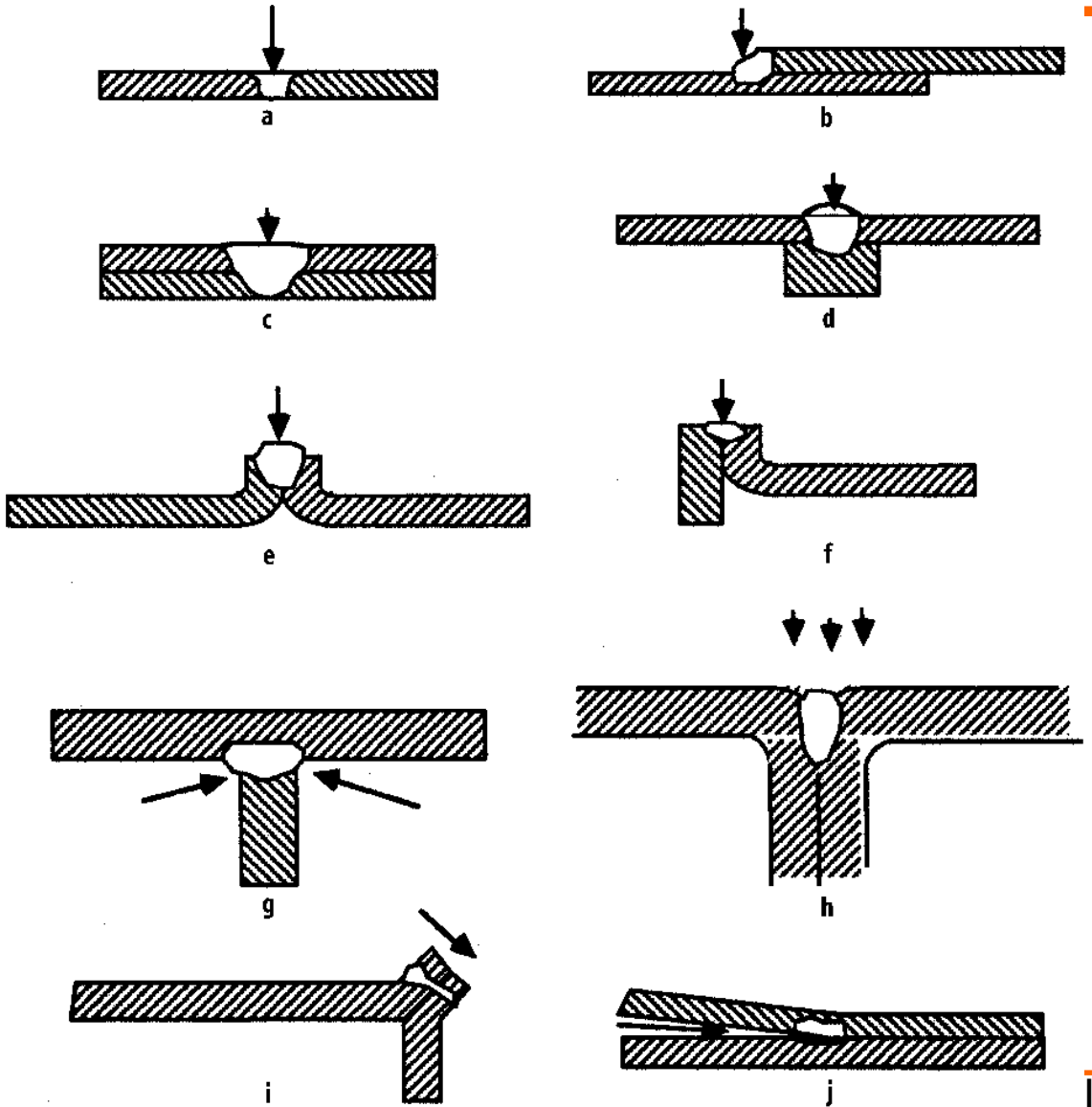
**Keyhole Welding:**

This hole is stabilized by the pressure from the vapour being generated. The "keyhole" behaves like an optical black body, it enables the beam to be nearly all absorbed.



# Joint Arrangements




Various welding joint arrangements: a butt joint, b fillet or lap joint, c spot or lap weld, d spike or spot weld, e flange joint, f edge joint, g T-joint, h flare weld, i corner, and j kissing or flare weld

# بازدید دستگاه لیزر و پرینتر سه بعدی

- در لیزر CO2 علاوه بر گاز کربن دی اکسید گاز های دیگری مثل نیتروژن و هلیوم نیز وجود دارند اما به این دلیل CO2 نامگذاری می شود که کربن دی اکسید گازی هست که فرآیند را تشدید میکند و این فرآیند را انجام می دهد.(لیرز CO2 یک لیزر گازی است )
- در لیزر CO2 در اثر قوس الکتریکی گاز CO2 تحریک می شود و باعث ساطع شدن موجی با طول موج ۱۰.۶ میکرومتر می شود که این موج برای انسان نامرئی است ( چون انسان توانایی دیدن امواجی با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر را دارد)
- این نور تولید شده ی نامرئی برای چشم بسیار مضر است و باید در طول این فرآیند حتما از چشم محافظت شود .
- برای انتقال این نور از روش های مختلفی استفاده می شود که به طول موج بستگی دارد :

اگر طول موج کوچک باشد از فیبر نوری برای انتقال نور استفاده می شود در حالی که اگر طول موج بزرگ باشد در این صورت از آینه برای انتقال پرتو نور استفاده می شود .

# بازدید دستگاه لیزر و پرینتر سه بعدی

- اگر از لیزر برای برشکاری استفاده می کنیم باید با استفاده از لنز ها پرتو های لیزر را متمرکز کنیم .
- لیزر ND-YAG یا لیزر حالت جامد است که اسم ND-YAG اسم کریستال موجود است که با تحریک آن پرتو نور لیزر ساطع می شود ( لیزر های جامد گستردگی بیشتری دارد )
- طول موج لیزر ND-YAG در حد ۱.۰۶۴ میکرومتر است (به علت طول موج کوچکتر از طریق فیبر های نوری منتقل می شود در این حالت نور مانند جریان الکتریکی در سیم های فیبرنوری منتقل می شود و توسط لنز ها ابتدا موازی و سپس متمرکز می شود ).

طول موج لیزر ND-YAG در حد یک دهم طول موج CO2 است که این کم بودن طول موج باعث افزایش توان در لیزر های ND-YAG می شود .

که در این صورت پرتو لیزرND-YAG توانایی جذب بالا در فلزات دارد در حالی که در پلیمر ها توانایی جذب بسیار پایین تری دارد .

- برای حکاکی پلیمر ( اپکسی ) از لیزر CO2استفاده می شود چون هم ازران قیمت است هم قدرت جذب بالایی در پلیمر ها دارد .

# بازدید دستگاه لیزر و پرینتر سه بعدی

- یک لیزر ND-YAG شامل اجزای زیر است :

۱.واحد کریستال ND-YAG

۲.دو آینه اصلی که وظیفه ی تشدید کننده را دارند (که یکی از این آینه ها بازتابش ۱۰۰ درصد دارد در حالی که دیگری بازتابش ۹۵ درصد دارد).

۳.پمپ:برای افزایش انرژی پرتو لیزر که خودش یک نوع لیزر است .

۴.یک المان الکتریکی که پرتو لیزر را به صورت پالسی و منقطع تولید می کند .

۵.گالوانو : وسیله ای شامل دو آینه که با حرکت این دو آینه کوچک مسیر حرکتی پرتو لیزر مشخص می شود

( نسبت به CNC سرعت بالاتری دارد چون اینرسی کمتری برای حرکت دارند )

- دلیل ایجاد پرتو لیزر منقطع بجای پیوسته این است که در حالت پالسی انرژی را در زمان کمتری به جسم وارد می کنیم در این صورت می توان جسم را تبخیر کرد.

در حالی که اگر پرتو لیزر را به صورت پیوسته منتقل کنیم در این انرژی در زمان بیشتری به جسم داده میشود و تنها قطعه کار را ذوب می کند .

# بازدید دستگاه لیزر و پرینتر سه بعدی

- با استفاده از لیزر ND-YAG می توان اپکسی سیاه را حکاکی کرد و تنها مشکلی که دارد این است که اپکسی سیاه را به سفید تبدیل می کند .

(دلیل جذب پرتو لیزر در اپکسی رنگ سیاه است .چون اگر اپکسی سفید را در معرض این پرتو قرار دهیم هیچ جذب انرژی نخواهیم داشت .)

- پس با توجه به جنس قطعه کار نوع لیزر را مشخص می کنیم .
- در فرآیند پرینتر سه بعدی نیز از لیزر استفاده می شود .
- در فرآیند ( SLS (Selective Laser Sintering ابتدا یک لایه پدر جسم را روی سطح می پاشند و بعد به کمک نور لیزر در نقاطی که می خواهیم پودر را ذوب می کنیم و اتصال برقرار می کنند و سپس لایه بعدی را می پاشیم .( در این فرآیند از لیزر CO2استفاده می شود )

خروجی این فرآیند قطعه کارهایی از نظر شکل پیچیده و از نظر استحکام قابل قبول است .

# بازدید دستگاه لیزر و پرینتر سه بعدی

- فرآیند های مختلف پرینتر سه بعدی

۱.SLS : که ماده اولیه پودر است .

۲. SLA: ماده اولیه رزین است که کاربرد خاصی در جواهر سازی دارد (جواهر را به صورت ریخته گری دقیق تولید می کنند )

۳. FDM : ماده اولیه یک سیم اکسترود شده است .