

## Lasery

- ◆ laser = zesílení světla stimulovanou emisí záření
- ◆ laser vydává monochromatické (jednovlnové) a koherentní světlo (vychází z jednoho bodu a dopadá do druhého bodu ve stejné fázi vlnové délky)
- ◆ koherenční délka – vzdálenost, o kterou se může lišit předmětová a referenční dráha paprsku, aby světlo bylo stále ještě monochromatické
- ◆ maser – předchůdce laseru, pracuje na stejném principu, ale generuje mikrovlnné záření
  
- ◆ **princip funkce laseru** (stimulovaná emise):
  - ➔ elektrony se ze základní energetické hladiny dodanou energií přesunou přes zakázaný pás na hladinu vyšší
  - ➔ pokud je na vyšší energetické hladině víc elektronů než na základní, tak stačí pouze malý impuls (tepelná fluktuace, foton ...), aby elektrony spadly zpět na základní energetickou hladinu, při pádu elektron vydá energii ve formě fotonu, který je impulsem pro další pád elektronu z vyšší energetické hladiny do základní
  - ➔ všechny fotony mají stejnou vlnovou délku, takže laserem vydávané záření je světlo o jedné vlnové délce dané šířkou zakázaného pásu
  
- ◆ **vícehladinové lasery:**
  - ➔ používají se v praxi častěji
  - ➔ vyrobí se přidáním vhodné látky do materiálu, která dodá metastabilní hladiny (= energetická hladina, na které se elektron neudrží a padá do nižší bez jakéhokoliv impulsu)
  - ➔ více energetickými hladinami se dají zajistit lasery vyzařující světlo různých vlnových délek
  - ➔ při více metastabilních hladinách je tvůrcem fotonů pouze jeden nebo dva přechody, ostatní přechody tvoří fonony, které např. ohřívají materiál
  
- ◆ **pevnotný laser:**
  - ➔ nejčastěji používané technologické lasery (k vrtání, řezání, nanáčení tenkých vrstev (laserová ablace – takto vyrobená vrstva se pozná podle mikroskopicky kapiček způsobených zahříváním podpovrchové vrstvy)...) )
  - ➔ v lékařství se používají na řezání hodně prokrvených tkání (opalováním okrajů se rána hned zaceluje a nekrvácí)
  - ➔ skládá se z aktivního prostředí (krystalu), čerpací výbojky, reflektoru (jedno- nebo víceelipsovité válec zajišťující minimální ztráty energie vložení výbojky do jednoho ohniska a krystalu do druhého (paprsek z jednoho ohniska elipsy se odrazí do ohniska druhého)) a Fabri-Perotova rezonátoru (dvě zrcátka přesně kolmá na optickou osu krystalu vyrobená zabroušením krystalu, jedno je nepropustné, druhé polopropustné), který „vybere“ pouze elektrony v trasách vodorovných k optické ose (proto se paprsek laseru nerozbíhá)
  - ➔ nejčastěji se používají rubínové nebo YAG (yttrium aluminum garnett) krystaly, pro velké (až desítky metrů) lasery se používají jako aktivní prostředí skleněné trubice (krystal by do takové velikosti rostl hodně dlouho, skleněná trubice se dá vyrobit, má ale kratší dobu použitelnosti, protože je méně stabilní díky malé tepelné vodivosti způsobené nekystalovou strukturou (zahřívá se a vznikají mikrotrhlky))
  
- ◆ **plynový laser:**
  - ➔ má oproti pevnému výhodou stálého běhu (nemusí se nabíjet výbojka)
  - ➔ místo zrcátek se používají Brewsterova okénka – skloněná sklíčka, která zajistí, že čtyřprocentní odraz světla, běžný u skla, se odrazí jinam než proti přicházejícímu hlavnímu svazku a neruší tak jeho kvalitu
  - ➔ v technologii se často používá laser CO<sub>2</sub> nebo CO
  - ➔ zvláštním případem jsou excimerové lasery – náplň výbojky se dodává z bomby, je zde možnost vybrat si určité záření (náplň vydrží asi měsíc, ale čím méně se používá, tím kratší dobu je použitelná)
  
- ◆ **kapalinový laser:**
  - ➔ nejčastěji používané ve výzkumu speciálních chemických reakcí
  
- ◆ barvy laserových paprsků se liší podle materiálu aktivního prostředí
  - ➔ argon – zelený nebo modrý paprsek

- ➔ krypton, xenon – oranžový paprsek
- ➔ nejčastěji se používá heliumneonový laser svítící červeně

#### ◆ Free electron laser (FEL laser):

- ➔ princip urychlení ve vakuu umístěného elektronového svazku na relativistickou rychlost v periodickém transverzálním magnetickém poli (při jejich styku vznikají fotony)
- ➔ vlnová délka výstupního svazku závisí na přiloženém magnetickém poli a energii elektronů (od optických do milimetrových vlnových délek)

## Hologramy

- ◆ hologramy objevil (a získal za něj Nobelovu cenu) maďarský asistent významné Londýnské univerzity Denis Gabor, když dostal za úkol zlepšit rozlišovací schopnost elektronového mikroskopu (nepovedlo se mu to, protože hologram nemůže zlepšit rozlišovací schopnost), laser byl ale vynalezen až po jeho objevu, takže musel použít monochromatické světlo získané rozdělením slunečního světla
- ◆ uspořádání součástí, které oddělilo předmětový a referenční svazek, vymyslel Prof. Denisjuk
- ◆ záznamové prostředí hologramu musí být schopno zachytit jemnou strukturu interferenčních proužků (minimálně 500 čar na milimetr)
- ◆ při zaznamenání hologramu se nesmí změnit vlnová délka o víc než dvacetinu, jinak se světlo rozhýbe a interferenční proužky se zruší, což rozmáže nebo znemožní zobrazení obrázku; pohybu se zabráňuje pomocí holografických stolů, které jsou odizolovány od okolního prostředí tak, aby se např. při bouchnutí dveří jinde v budově paprsek nepohnul
- ◆ při tvorbě hologramu nezáleží na kvalitě optiky, pouze se při rekonstrukci musí použít stejně pokažená vlna, což se dá použít např. při kódování vojenských zpráv
- ◆ záznam hologramu trvá méně než sekundu, pokud se ale fotí živé objekty, je to moc dlouhá doba, takže se používá pulzních laserů (dodají potřebnou energii v mnohem menším čase, takže se objekt nestihne pohnout ani při běhu)
- ◆ hologramy jsou jednobarevné (barva je dána barvou laserového paprsku) nebo barevné (při tvorbě hologramu se na záznamové prostředí svítí postupně třemi barvami paprsku a při rekonstrukci všemi naráz)
- ◆ existují i hologramy, které se dají rekonstruovat bílým světlem, ale je na ně potřeba speciální záznamové prostředí, ve kterém je každá vrstvička schopna vybrat si z bílého světla pouze správnou vlnovou délku (vyrábí si monochromatické světlo)
- ◆ v každém bodě hologramu je informace o všech bodech snímaného objektu (z každého bodu objektu dopadá odraz na každý bod záznamové desky), takže když se záznamová deska rozbije, dá se obraz zrekonstruovat z její části, pouze bude menší
- ◆ **holografická interferometrie (holometrie):**
  - ➔ používá se k měření pnutí, dilataci součástek, k měření obtékání křídél letadla...
  - ➔ **holometrie dvojího osvětlení:**
    - ➔ na jednu desku se zaznamená vlna objektu v běžném stavu a pak zdeformovaného (např. ohřátím průchodem proudem)
    - ➔ používá se k měření dilatací součástek
  - ➔ „time average“:
    - ➔ používá se k hodnocení typu a kvality kmitání membrány (třeba ke zjištění kvality hudebních nástrojů)
  - ➔ **holometrie živých proužků**
- ◆ **holografická topografie:**
  - ➔ používá se k hodnocení rovinnosti

## Indukční ohřev

- ◆ ohřívání předmět se vloží do cívky napájené vysokofrekvenčním proudem, kde se indukci vířivých proudů mění proudová hustota, čímž se při vyšší frekvenci proud „vytlačuje“ na povrch ohřívání předmětu, to ohřeje povrchovou vrstvu předmětu a od ní se ohřívá zbytek ohřívání předmětu
- ◆ indukční ohřev se dá použít pouze pro vodivé materiály s měrným odporem mezi  $5 \cdot 10^{-8}$  a  $10^3 \Omega\text{m}$  (v případě většího měrného odporu proniká proud do předmětu málo a ten se tedy zahřívá příliš pomalu,

v případě menšího měrného odporu se více zahřívá induktor (měděná trubka většinou protékána chladicí vodou) než zahříváný předmět (např. u stříbra))

- ◆ k vytvoření proudu je potřeba výkonný oscilátor (5 kW a víc)
- ◆ důležité je zajistit správné propojení zdroje a induktoru – kabel se nesmí zahřívát, takže impedance zdroje musí být přizpůsobena impedanci induktoru a naopak
- ◆ pro každý tvar a velikost předmětu musí být speciální cívka

(náhradní schéma indukčního ohřevu i odvozené rovnice budou pryč na stránkách předmětu)

#### ◆ indukční vařič

- ➔ plochá cívka pod keramickou deskou tvoří magnetické pole a vířivé proudy, které ohřívají hrnec (musí být kovový, nerez má moc velký odpor) na desce (deska zůstává studená, protože má velký odpor, ohřívá se pouze od hrnce)
- ➔ používá frekvence 25 až 35 kHz a má vysokou účinnost (normální plotýnka – 60% ztráty, indukční vařič – 10% ztráty)

## Dielektrický ohřev

- ◆ princip dielektrického ohřevu spočívá ve využití dielektrických ztrát – po celém ohřívaném objektu je rozprostřen stejný výkon, ale na povrchu je objekt chlazen, takže nejteplejší je uvnitř
- ◆ dielektrického ohřevu se využívá u mikrovlnek, při výrobě papíru, klížení, sušení pryskyřice...
- ◆ představa: elementární kondenzátor s vloženým dielektrikem – vzduchový kondenzátor v sérii s dielektrickým kondenzátorem → vzduchový kondenzátor je bezeztrátový, takže kvalitnější kondenzátor je se vzduchovou částí než bez ní
- ◆ mokřý materiál má menší ztrátový činitel než suchý (způsobeno velkou permitivitou vody), takže mokřý materiál se ohřeje víc – to se využívá např. při sušení dřeva pro výrobu nábytku nebo výrobě chipsů, kde se brambory dielektrickým ohřevem vysuší, ale nespálí
- ◆ vlnová délka napájecího napětí by u dielektrického ohřevu měla být minimálně 10x větší než vzdálenost elektrod (kondenzátoru)

## Procesy využívající ultrazvuk

- ◆ ultrazvuk působí ultrazvukovým tlakem, rozkmitáním částic (využíváno např. při svaru) a vyvoláním tepelných účinků
- ◆ pro účely akustického (ultrazvukového) obrábění je nutné počítat s objemovým modulem pružnosti a jeho závislosti na teplotě (ostatní vlastnosti jsou také závislé na teplotě, ale není to tak podstatná závislost) – např. sváření je jednodušší po předehřátí
- ◆ **Piezostrikce:**
  - ➔ jev, při kterém se krystal při vložení do pole jedné polarity prodlouží, do pole druhé polarity zkrátí
  - ➔ vykazují ji jen krystaly bez středu symetrie mřížky (nejčastěji využíváno u  $\text{BaTiO}_3$  nebo u v dnešní době velmi moderní keramiky PbZT)
  - ➔ piezoposuv je v řádech mikronů, přesnější posun se dosáhne u kovů než u keramiky
- ◆ **Elektrostrikce:**
  - ➔ jev, při kterém dielektrikum vložené do el. pole zmenšuje svůj rozměr podle parabolické závislosti
  - ➔ vykazují ji všechny dielektrika
  - ➔ koeficient je velmi malý (o několik řádů) oproti piezostrikci, takže se elektrostrikce může zanedbat
- ◆ **Magnetostrikce:**
  - ➔ jev podobný piezostrikci, ale probíhající při přiložení magnetického pole
  - ➔ koeficienty prodloužení (zkrácení) jsou většinou větší než piezostrikční (bez velkého pole se dá vytvořit posun i několik mikronů)
  - ➔ magnetostrikce je přesnější než piezostrikce, zvyšování posunu je jednodušší
  - ➔ použití např. u niklu (nejstarší materiál, u kterého se magnetostrikce využívala) a železovníku

- ➔ aplikace magnetostruktury:
  - ➔ ultrazvukové čištění
  - ➔ ultrazvukové sváření (rozkmitané mřížky se do sebe zaklesnou)
  - ➔ sváření hliníku (hliník se špatně pájí, při využití ultrazvukového pájení se rozkmitáním korund vytlačuje a mřížky hliníku se spojí načisto)
  - ➔ ultrazvukové broušení (velmi jemné – spíše leštění, lapování)

## Procesy v silových polích

- ◆ tváření magnetickými impulsy:
  - ➔ lisování do tvarů
- ◆ odlučovače popílku:
  - ➔ popílkové částice se ionizují korónou a pak se odtahují
- ◆ elektroforetické nanášení:
  - ➔ anafóréza:
    - ➔ používá se k rovnoměrnému lakování (i v ostrých rozích se nanese stejná vrstva laku jako jinde)
    - ➔ částice laku jsou rozpuštěny v kapalině, která má větší permitivitu než lakové částice, které se nabíjí a jsou přitahovány k elektrodě (např. kapota auta)
    - ➔ nejčastěji se jako kapalina používá voda, která je nejlevnější a zároveň ekologická
  - ➔ katafóréza:
    - ➔ stejný princip jako anafóréza, pouze lak má větší permitivitu než kapalina a částice laku jsou přitahovány ke katodě

## Rychlé vytváření prototypů (Rapid / Fast prototyping)

- ◆ základem je umět nakreslit požadovaný objekt 3D v CADu
- ◆ princip: počítačem řízená hlavička laseru postupně nařeže tenké vrstvičky fotopolymery (laser spojuje tekutý fotopolymer do pevného stavu), které se vždy překryjí voskem, ofrézují a pak spojí s další vyráběnou vrstvičkou (jedna vrstvička je nejčastěji 0,3 mm)
- ◆ pevnost takto vyrobeného prototypu není příliš velká, ale u prototypu to ani není záměrem
- ◆ místo fotopolymery se dá použít např. Greentape, což je fólie tvořená plastem, keramikou a sklem – plast se laserem vypálí a keramika se sklem se slíjí a tvoří vytvářený objekt
- ◆ techniky Fast prototyping:
  - ➔ práškové systémy:
    - ➔ není potřeba fotopolymer, vrstva prášku se spéká laserem, na ni se dá další vrstva prášku, opět se speče laserem...
    - ➔ třídimenzionální tisk:
      - ➔ místo se pokryje lepidlem, překryje práškem, znovu lepidlem, práškem... (jakoby se objekt slepuje z vrstviček)
  - ➔ změna fáze materiálu teplotou:
    - ➔ na povrch horké kapaliny se kape fotopolymer, který se zbrousí obráběcí hlavicí řízenou počítačem
  - ➔ další techniky jsou např: stereolitografie a laminování z pevné fáze

## Plasmové technologie

- ◆ plasma se používá hlavně k leptání
- ◆ výstupní trysky pro nanášení plasmu musí být z wolframu nebo keramika, protože teplota plasmu je v řádech tisíců kelvinů
- ◆ typy leptání a materiály plasmu se používají podle leptaného materiálu (křemík se leptá kyslíkovou plasmou a rychlost leptání je velmi vysoká)
- ◆ titan a wolfram se leptat nedají

◆ teorie leptání:

➔ je jich hodně

➔ fyzikální leptání:

➔ k leptání dojde vyražením atomu z materiálu iontem plasmy

➔ vyražení atomu z mřížky je podle jedné teorie způsobeno energií, podle jiné tepelnou emisí, která rozkmitá mřížku...

➔ chemické leptání:

➔ používá se často

➔ iont dopadlý na leptaný povrch chemicky zreaguje s leptanou látkou a plyn, který se smáchá se vzduchem

◆ barvy plasmy se liší podle materiálu:

➔ argon – světle fialová plasma

➔ kyslík – šedá plasma

➔ xenon – přibližně žlutá plasma

(z Machových přednášek chybí ještě laserová litografie a technologie využívající elektronové svazky, k tomu mám ale dost zmatené zápisky, takže se tu neobjeví)