

Holografilab

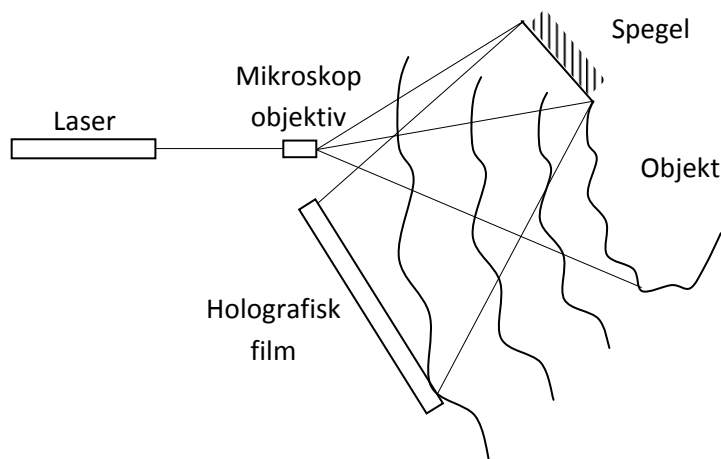
I denna lab kommer ett dubbelexponerat, transmissions hologram göras genom att bygga en holografiuppställning, dubbelexponera och framkalla en holografisk film. Dubbelexponerade hologram används inom holografisk interferometri där små (samma storleksordning som ljusets våglängd) deformationer som sker mellan exponeringarna kan mätas. En målsättning med denna lab är att genom en praktisk tillämpning förstå fenomen och begrepp såsom interferens, diffraktion och koherens (samstämmighet, grad av samklang).

Lasern som används i denna lab är av klass 3B. Läs om lasersäkerhet och om vilka försiktighetsåtgärder som skall vidtas i stycket om lasersäkerhet på sid 6. I stycket om förberedelser för denna lab, sid 6, framgår vilka begrepp och tillämpningar (kursiverade ord i kommande stycken) som skall kunna förklaras.

1. Bakgrund

- *Kursiverade ord är viktiga begrepp som skall förstås, kunna förklaras och dess relevans i detta sammanhang skall motiveras.*

Inom holografi används *interferens* och *diffraktion* i samverkan. Till skillnad från ett traditionellt fotografi där våglängd (färg) och intensitet (ljusstyrka) registreras är det *interferens* mellan två vågor som registreras. Dessa två vågor är reflektionen från objektet som ska avbildas samt en referensstråle.



Figur 1 Skiss på enkel holografi uppställning baserad på en divergerande stråle från ett mikroskopobjektiv.

Interferensmönstret mellan referensstrålen och objektets reflektion registreras i en holografisk film. När denna efter framkallning åter belyses med referensstrålen, sprids denna genom *diffraktion* som den holografiska filmen ger upphov till. Den i hologramplåten registrerade *interferensen* är information om den inbördes *fasförskjutningen* vilken objektets form ger upphov till. När plåten belyses med en rekonstruktionsstråle ger den registrerade fasförskjutning en viss spridning (*diffraktion*) av rekonstruktionsstrålen. Det är denna spridning som gör att avbildningen upplevs 3-

dimensionell. Anledningen till att *fasförskjutningen* kan registreras i filmen är att formen på vågfronten från objektet, se Figur 1, genom *interferens* relateras till referensstrålen. Man kan inte se detta interferensmönster (fransar) som uppstår utan det registreras i en holografisk film (plåt). Typiskt kan en sådan plåt registrera 5000 fransar per millimeter. För att *interferens* skall uppstå måste referensstrålen och ljuset med vilket objektet belyses vara *koherent*. Detta krav kan uppnås genom att strålen från lasern delas upp i en referensstråle samt en stråle som belyser objektet. Dessutom måste holografiuppställningen göras så att den största skillnaden i någon färdväg mellan referens- och objektsstråle inte får vara större än *koherenslängden* hos ljuset. *Koherenslängden*, $l_{koherens}$, ges av hur pass *monokromatiskt* ljuset är enligt ekv. 1, dvs hur stor den *spektrala bandbredden*, $\Delta\lambda$, är,

$$l_{koherens} = \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda} \quad 1.1)$$

För den HeNe laser ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$, $\Delta\lambda \approx 1 \text{ pm}$) som används i denna lab är koherenslängden ca 20 cm.

Det hologram som hittills beskrivits är ett sådant som den oinvidde sannolikt tänker på; en avbildning som upplevs som 3-dimensionell. Denna lab handlar om holografisk *interferometri* och ett dubbelexponerat hologram ska framställas. Dessa används för att mäta små deformationer av 3-dimensionella objekt, dvs. små förflyttningar mellan två olika tillfällen. Här är det alltså interferensen mellan objektets vågfronter vid två olika tillfällen som används. Detta interferensmönster kan man se (utan förstoring edyl.) som ränder, fransar, på objektet.

2. Experiment

2.1. Objekt

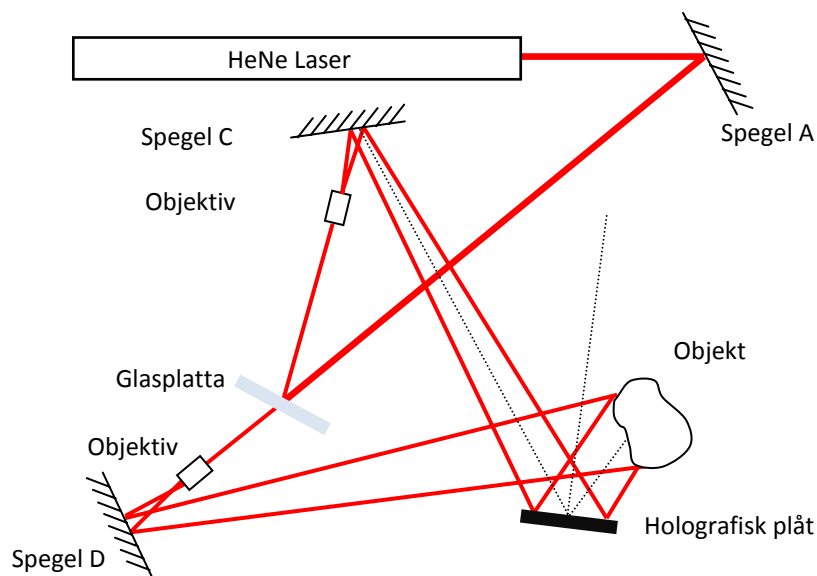
Det objekt som skall avbildas är en burk av tunn plåt. Vid den första exponeringen fylls burken med vatten till ca $\frac{3}{4}$ av sin volym. Inför den andra exponeringen droppas några droppar vatten i burken, dessa ger upphov till en formändring som kan uppskattas utifrån interferensmönstret.

2.2. Framställande av hologram

De optiska komponenterna som används under denna lab är känsliga och skall behandlas försiktigt. Försök inte tvinga delar med våld om de sitter trögt eller om det inte är meningen att tex. en skruv skall sitta hårdare än den redan gör. Se till att du vet hur komponenterna skall hanteras, rör aldrig ytan på speglar, glasfönster, mikroskopobjektiv odyl. När uppställningen linjeras skall komponenterna ställas upp så att strålen går genom mitten på dem och att strålen följer tänkt väg och håller samma höjd över bordet. Använd skruvar på hållare för att finjustera vinklar på speglarna, riktningen hos själva lasern ska inte justeras.

Mörkrumsbelysning krävs från det att hologramplåten tas fram tills den är framkallad (fixerad). Ändra inte uppställningen efter exponeringen eftersom plåten skall ställas tillbaka i sin hållare för att rekonstruera objektet med referensstrålen. Labben genomförs enligt följande punkter, vissa detaljer finns i 2.2.1 och 2.2.2

- Ställ upp komponenterna enligt figur 2. Detta är en principskiss, vissa avvikelser kan bli nödvändiga.
 - Kontrollera att vägskillnaden inte är för stor (+/- någon cm).
- Kontrollera ljusstyrkan vid hologramplåten från referensstrålen respektive från objektet.
- Bestäm exponeringstiden enligt tabell 1
- Gör lämpliga förberedelser inför exponeringen, läs igenom 2.2.1.
- Ställ hologramplåten i hållaren. Rätt sida (den med emulsion) måste vara vänd mot objektet. Denna känns mer klibbig än baksidan om man känner med lätt fuktade fingrar.
- Genomför den första exponeringen
- Tillsätt ett par droppar vatten med en pipett
- Genomför den andra exponeringen
- Tag hologramplåten (med fingrarna på kanten) till framkallning



Figur 2 Principskiss för holografi uppställningen. Lasern är en helium-neon laser med 5 mW uteffekt, klass 3 B, se säkerhetsföreskrifter. Lasern står på ett stabilt fundament. Ljuset från lasern träffar, via spegeln A, den planparallella glasplattan B. En del av ljuset, ca 4 % reflekteras och utgör referensstrålen. Resterande del (transmitterad) belyser objektet.

2.2.1. Exponering

Exponeringen sker genom att en pappersskiva lyfts bort från laserns utkopplingsöppning. För att få en bra exponering är följande viktigt:

- Stabilitet
 - Rör inte bordet och stå still mellan och under exponeringar
- Lika gångväg för strålarna

- Strålarnas gångväg från stråldelaren (glasplattan) till hologramplåten skall vara lika (+/- någon cm).
- Belysning
 - Objektet skall vara väl belyst. Referens strålen skall belysa plåten så jämnt som möjligt.
- Balans
 - Intensiteten från referensstrålen och det spridda ljuset från objektet balanseras så bra som möjligt genom att justera mikroskopobjektivens lägen och mäta respektive intensitet med exponeringsmätaren (logaritmisk skala – 1 steg fördubbling, 2 steg fyrdubbling). Intensiteten från de olika strålarna skall vara inom 1-2 steg på mätarens skala.
- Exponeringstid
 - För det holografiska plåt som används ges exponeringstiden av tabell 1. Då det är ett dubbelexponerat hologram skall halva denna tid användas för respektive exponering.

Avläst värde	Total exponeringstid [s]
11	30
10	60
9	120
8	240
7	480
6	840

2.2.2. Framkallning

En beskrivning av framkallningsprocessen finns även i labbet. Plåten framkallas genom nedsänkning i:

1. Framkallningsvätska 5min
2. Stoppbad 1min
3. Fixering 5 min - NÄR DEN SISTA PLÅTEN ÄR FIXERAD KAN LJUSET TÄNDAS
4. Skölj i vatten 10 min, använd behållare med lämpliga hållare för flera plåtar
5. Skölj i metanol 2 min, hålls upp så sent som möjligt då metanol är flyktigt

2.3. Utvärdering av hologrammet

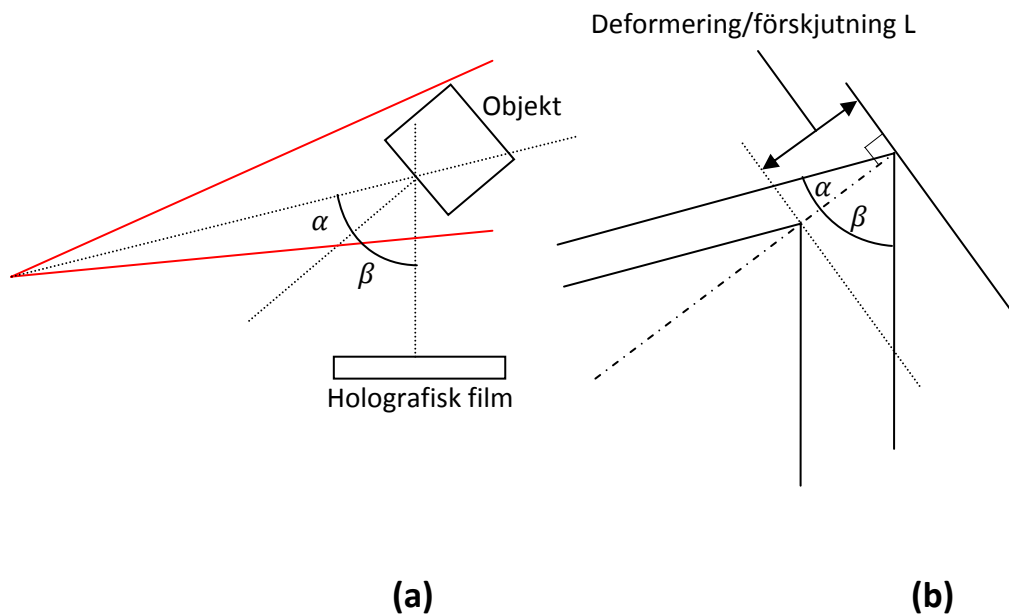
För att rekonstruera hologrammet, dvs. belysa med en referensstråle för att se interferens mönstret, placeras det framkallade hologrammet i hållaren där det exponerades. Genom att blockera objektsstrålen och bara belysa med referensstrålen får man en lämplig rekonstruktionsstråle. Nu skall man kunna se en virtuell bild av objektet med ett interferens mönster (fransar) som motsvarar objektets förflyttning/formändring mellan exponeringarna.

Utgå från tex kanten (som kan antas ha minst deformation) och räkna antalet fransar som passerats i en punkt. Detta ger storleken på formändringen i punkten enligt,

$$L = \frac{n\lambda}{\cos \alpha + \cos \beta}$$

2.3.1)

Där L är förskjutningen i normalens riktning, n antal passerade fransar i den punkt man utvärderar och λ är ljusets våglängd. Denna och de vinklar som skall användas ges av figur 3. Observera att vinklarna alltså inte är infalls- respektive reflexions vinklar. Skillnaden i gångväg mellan det odeformerade och deformerade objektet kan ses i figur 3(b)



Figur 3 (a): Illustrering av de vinklar som måste användas vid utvärdering av objektsdeformation (b): förstoring och schematisk bild av förskjutningen som objektets deformation ger upphov till.

3. Lasersäkerhet

I denna lab används en laser tillhörande klass 3B, vilket är den näst högsta (farligaste) klassen.

Kontinuerligt arbetande lasrar i klass 3 B skall ha en max effekt på 500 mW. (I klass 3A max 5 mW) Direkt bestrålning av en laser i denna kan skada ögat och i vissa fall huden. Diffust reflekterad strålning är i de flesta fall ofarlig men man bör vara försiktig med reflexer. Klass 3B är en bred klass med lasrar som är mycket farliga till relativt ofarliga. Den som används i denna lab kan skada ögat men den bränner inte huden.

- Använd skyddsglasögon när det är stor risk att en stråle reflekteras okontrollerat, dvs när komponenterna ställs upp och linjeras.
- Användningsutrymmet skall vara väl kontrollerat så att inga utomstående riskerar att träffas av laserstrålen.
- Ha alltid ögonen över det plan laserstrålen går i även med skyddsglasögon på.
- Ta av reflekterande saker som ringar och klockor.
- Gör lämpliga avskärmningar så att grannen inte utsätts för stråle.
- Håll alltid strålen på samma höjd över bordet.

Mat, dryck, tuggummi, snus odyl är inte tillåtet I lab salarna, särskilt inte i rum där man hanterar kemikalier.

4. Förberedelser

1. Nämn några viktiga egenskaper hos laserljuset.
2. Redogör för koherensbegreppet
3. Vilken egenskap hos laserljuset avgör dess koherenslängd?
4. Varför är laserns koherenslängd viktig?
5. Vad menas med spektral bandbredd?
6. Beskriv hur ett interferensmönster uppstår, rita gärna och använd en interferometer ni känner till som exempel.
7. Beskriv ett dubbelexponerat hologram och redogör för skillnaden mot ett enkelexponerat?
8. Varför återskapas objektet när det belyses med referensstrålen?
9. Vad kan en rimlig förklaring till att det inte finns några holografiska digital kameror vara?
10. Vad är den främsta styrkan med interferometriska metoder? (Alltså även tillämpningen av t.ex. en Twyman-Green interferometer)
11. Vad är viktigt att tänka på när ett hologram skall rekonstrueras beträffande strålgången?
12. Hur beror förändringen hos det belastade objektet av antalet fransar som passeras i en viss relativt någon referenspunkt?
13. Härled ekv. 2.3.1) utifrån figur 3, utgå ifrån $\Delta OPL = n\lambda$, ΔOPL är skillnaden i gångväg för strålarna (OPL – Optical Path Length).
14. Förklara utvärderingen av hologrammet, gärna utifrån figur 3.