



FFI-rapport 2014/01475

Opplinjering av oppsett for fotoluminesensmåling



Celin Russøy Tonheim



Opplinjering av oppsett for fotoluminesensmåling

Celin Russøy Tonheim

Forsvarets forskningsinstitutt

12. november 2014

FFI-rapport 2014/01475

121101

P: ISBN 978-82-464-2456-9

E: ISBN 978-82-464-2457-6

Emneord

Fotoluminesens

PL

Opplinjering

Spektrometer

Laser

Godkjent av

Øyvind Sjøvik

Prosjektleder

Johnny Bardal

Avdelingsjef

Sammendrag

Permanent oppsett for måling av fotoluminesens fra halvlederprøver er plassert på eget optikkbord på rom 203D/185. Når en laserstråle med passende intensitet og bølgelengde treffer en halvleder vil elektron-hullpar dannes ved at elektroner eksiteres fra valensbåndet til ledningsbåndet. Etter kort tid rekombinerer elektron-hullparene, dvs. at elektronet gjør en overgang til en ledig tilstand i valensbåndet. Energidifferansen kan da sendes ut i form av et foton, og det er denne strålingen som kalles fotoluminesens. Fotoluminesensens energi kan gi oss nyttig informasjon om halvlederens båndgap og evt. andre energinivåer, som for eksempel energinivåer med opphav i dopeatomer. Utstyret kan inngå som en del av rutinen for karakterisering og kvalitetskontroll av materialer for bruk i infrarøde detektorer. Oppsettet for måling av fotoluminesens inneholder tre lasere. I tillegg inneholder oppsettet en rekke speil og linser som brukes til å justere laserstrålenes retning, posisjon, størrelse og form. Et Fourier-transform spektrometer brukes til å bestemme fotoluminesensens spektrum, og det benyttes speil utenfor og internt i spektrometeret for å justere strålegangen i spektrometeret og fokusere fotoluminesensen på spektrometerets detektor. Denne rapporten beskriver fremgangsmåter for opplinjering av optiske elementer i fotoluminesensens strålegang mellom prøve og detektor samt opplinjering av de tre laserne.

English summary

An experimental setup for measurement of photoluminescence from semiconductor samples is placed on a dedicated optical table in room 203D/185. When a laser beam of appropriate intensity and wavelength is directed towards a semiconductor, electrons are excited from the valence band to the conduction band creating electron-hole pairs. After a short period of time, recombination occurs; electrons in the conduction band make a transition to a lower energy state. The energy difference can be emitted as a photon, and this radiation is termed photoluminescence. The energy of the photoluminescence radiation can give us useful information about the band gap, and also other energy levels present in the semiconductor, such as dopant energy levels. The equipment can be part of the routine for characterization and quality control of materials used for infrared detectors. There are three lasers in the photoluminescence setup, in addition to lenses and mirrors for adjustment of direction, position, size and shape of the laser beam. A Fourier-transform spectrometer is used to obtain the photoluminescence spectrum, and mirrors outside and inside the spectrometer allow adjustment of the path of the radiation. The photoluminescence is focused on a detector inside the spectrometer. This report describes procedures for alignment of the optical elements between the sample and the detector, and also alignment of the three lasers.

Innhold

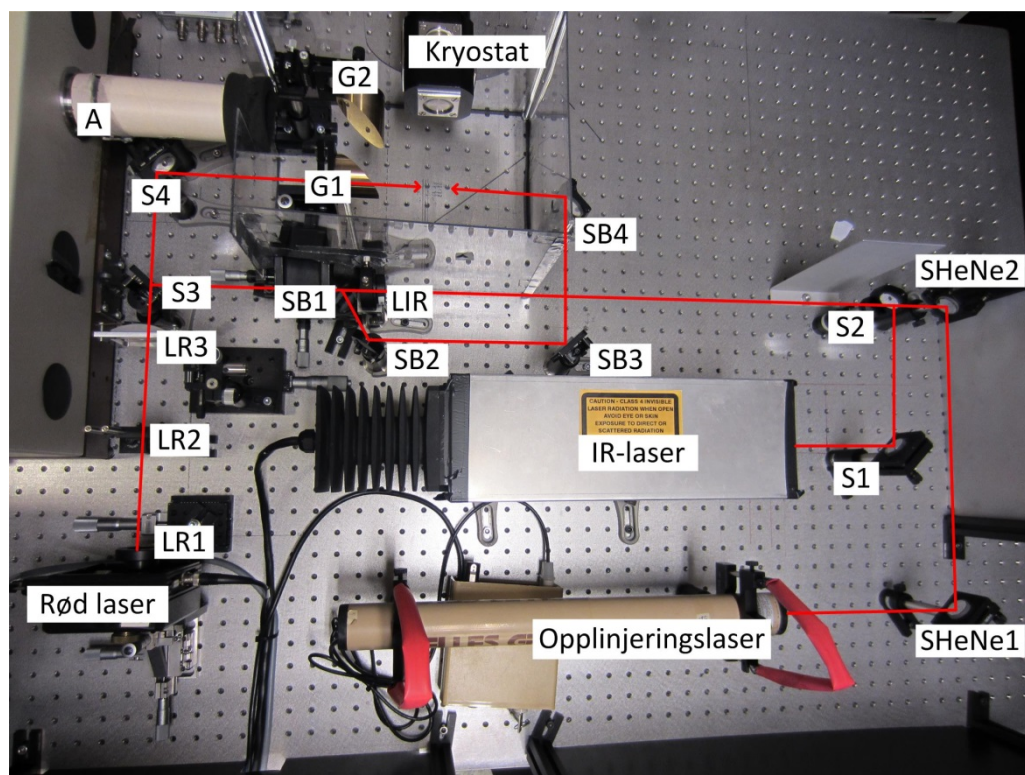
1	Innledning	7
2	Opplinjing av optiske komponenter i fotoluminesensens strålegang	9
3	Rød laser	15
3.1	Tekniske spesifikasjoner	15
3.2	Opplinjing	17
3.2.1	Utstyr	17
3.2.2	Justere laserstrålens posisjon og størrelse	18
3.3	Avgrensing av område definert som stråle i programvaren for beregning av stråleprofil	20
4	IR-laser	24
4.1	Tekniske spesifikasjoner	24
4.2	Historikk	26
4.3	Opplinjing	26
4.3.1	Utstyr	27
4.3.2	Undersøk om laserstrålen passerer gjennom hull i G1	27
4.3.3	Få laserstrålen gjennom hull i G1	28
4.3.4	Justere laserstrålens posisjon og størrelse	29
4.3.5	Opplinjing av HeNe-opplinjeringslaser	30
4.3.6	Bestemme I_{laser} for aktuelle lasereffekter	31
4.3.7	Ta bilde av stråleprofil	31
4.3.8	Baksidebelysning	33
5	Matlab	34

1 Innledning

Oppsettet for måling av fotoluminesens på Epitek målelab (rom 203D/185) inneholder tre lasere:

- Coherent 678 nm diodelaser.
- Diodepumpet 2,01 μm Tm:YAG laser bygget ved FFI.
- Melles Griot HeNe opplinjeringlaser.

Laserne omtales heretter som henholdsvis rød laser, IR-laser og opplinjeringlaser. Stephane Nicolas planla og monterte opprinnelig måleoppsett våren 2005 og tidlig 2006. Dette arbeidet innebar stråleutforming av den røde laseren, beregning av fotoluminesensens strålegang før, mellom og etter de paraboliske gullspeilene samt opplinjering av hele systemet. Den gang ble en aluminiumsplate med mønster av gjengede hull, liggende på et vanlig bord, brukt som optikkbord. Ved årsskiftet 2006/2007 monterte og opplinjerte Stephane IR-laseren i oppsettet. Våren 2010 ble nåværende optikkbord kjøpt inn og det ble gjort flere endringer av strålegangen før montasje på nytt optikkbord. Dette arbeidet ble gjort av Celin Tonheim. Figur 1.1 viser et oversiktsbilde av optikkbordet der de tre laserne og tilhørende optiske komponenter er merket. De optiske komponentene er beskrevet i Tabell 1.1 og forkortelsene i Figur 1.1 vil bli brukt senere i teksten uten nærmere forklaring. Når systemet er korrekt opplinjert sammenfaller opplinjeringlaserens strålegang nøyaktig med IR-laserens strålegang fra S2. På denne måten har man kontroll på den usynlige strålen til IR-laseren helt frem til prøveposisjonen.



Figur 1.1 Optikkbord.

Laserna opplinjeres med ujevne mellomrom bestemt av bruksfrekvens. Ved observasjon av for dårlig overlapp mellom IR-laser og opplinjeringslaser, eller dersom laserstrålen til en eller flere lasere ikke passerer gjennom hullet i G1, må berørt(e) laser(e) opplinjeres på ny. Det samme gjelder dersom noen av de optiske komponentene i oppsettet kan være kommet ut av posisjon, for eksempel etter å ha vært utsatt for støt. Berørt(e) laser(e) skal da opplinjeres på ny før neste måling uavhengig av om det fortsatt er overlapp med evt. opplinjeringslaser og laserstrålen passerer gjennom hullet i G1. Som et minimum bør stråleprofil og effekt på prøven samt overlapp mellom IR-laserens og opplinjeringslaserens strålegang fra S2 og til prøveposisjonen sjekkes én gang pr. år. Dette er særlig med tanke på de tre vippespeilene i oppsettet (S2, S3 og SB1), som vil kunne endre posisjon over tid.

Før laserne kan opplinjeres må det avklares om optiske komponenter i fotoluminesensens strålegang, dvs. fra prøveposisjon til detektor, trenger justering. En evt. opplinjering av strålegangen fra prøveposisjonen til detektoren må gjøres før opplinjering av laserne fordi laserstrålen passerer gjennom hullet i G1 med liten margin.

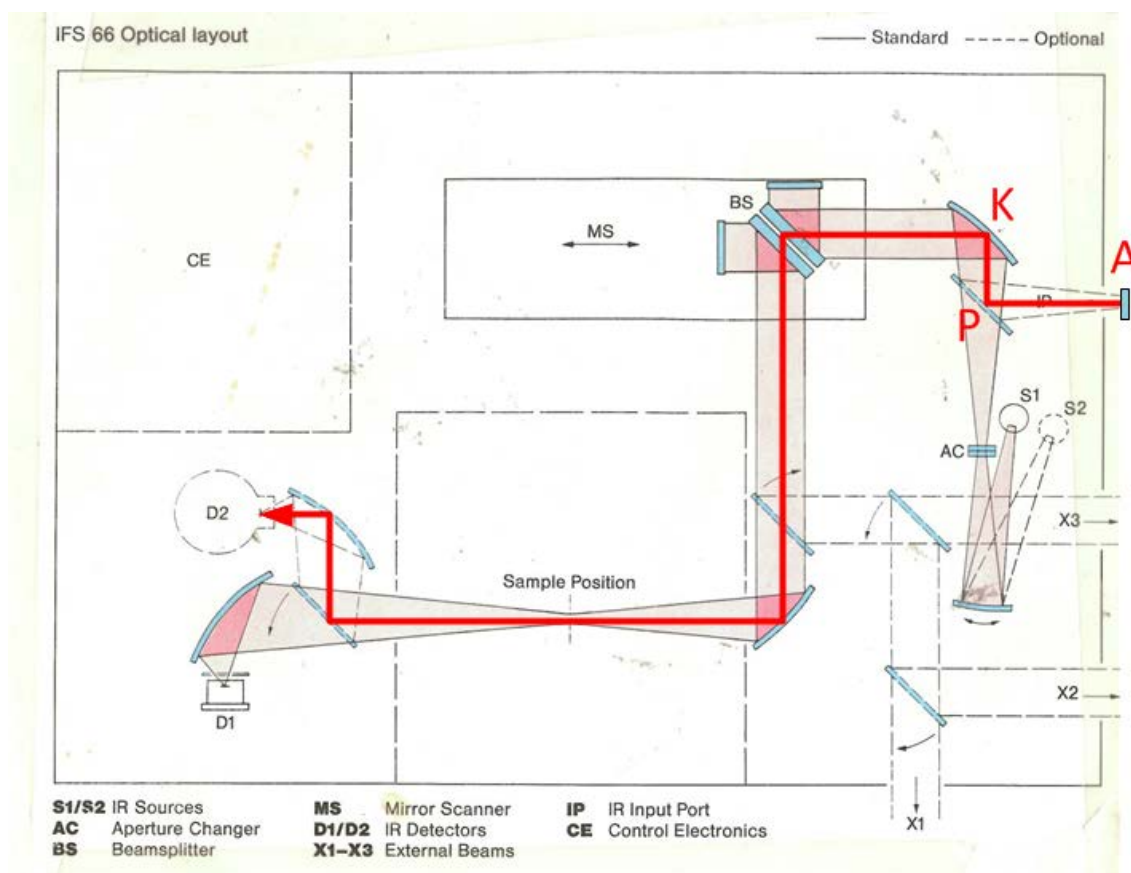
Tabell 1.1 Optiske komponenter som inngår i oppsettet.

Komponent	Beskrivelse
S1	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR-laser.
S2	Plant vippespeil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR-laser.
S3	Plant vippespeil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR- og opplinjeringslaser.
S4	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR-, rød og opplinjeringslaser.
SHeNe1	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av opplinjeringslaser.
SHeNe2	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av opplinjeringslaser.
SB1	Plant vippespeil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR- og opplinjeringslaser ved baksidebelysning.
SB2	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR- og opplinjeringslaser ved baksidebelysning.
SB3	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR- og opplinjeringslaser ved baksidebelysning.
SB4	Plant speil: New focus 5103 VIS-IR. Brukes av IR- og opplinjeringslaser ved baksidebelysning.
LR1	Samlelinse for rød laser merket 06 GLC 001/670.
LR2	Sylinderlinse for rød laser.
LR3	Sylinderlinse for rød laser merket 63334.
LIR	Samlelinse: Eksma CaF2 AR 2,05-2,2 PCX 600 mm.
G1	Parabolsk gullspeil med hull, $f = 69$ mm.
G2	Parabolsk gullspeil, $f = 250$ mm.
A	Apertur (skjult av rør). Aperturen er inntegnet i Figur 2.1.

Kapittel 2 inneholder et forslag til fremgangsmåte for opplinjering av optiske komponenter mellom prøveposisjon og detektor. Videre finnes tekniske beskrivelser av rød laser og IR-laser, samt fremgangsmåter for opplinjering av de to laserne, i kapittel 3 og 4. Fremgangsmåte for beregning av stråleprofil i Matlab finnes i kapittel 5. Det forutsettes at rutiner for betjening av utstyret er kjent. Før opplinjeringen starter må bur og rør som brukes til flushing av strålegangen fjernes.

2 Opplinjering av optiske komponenter i fotoluminesensens strålegang

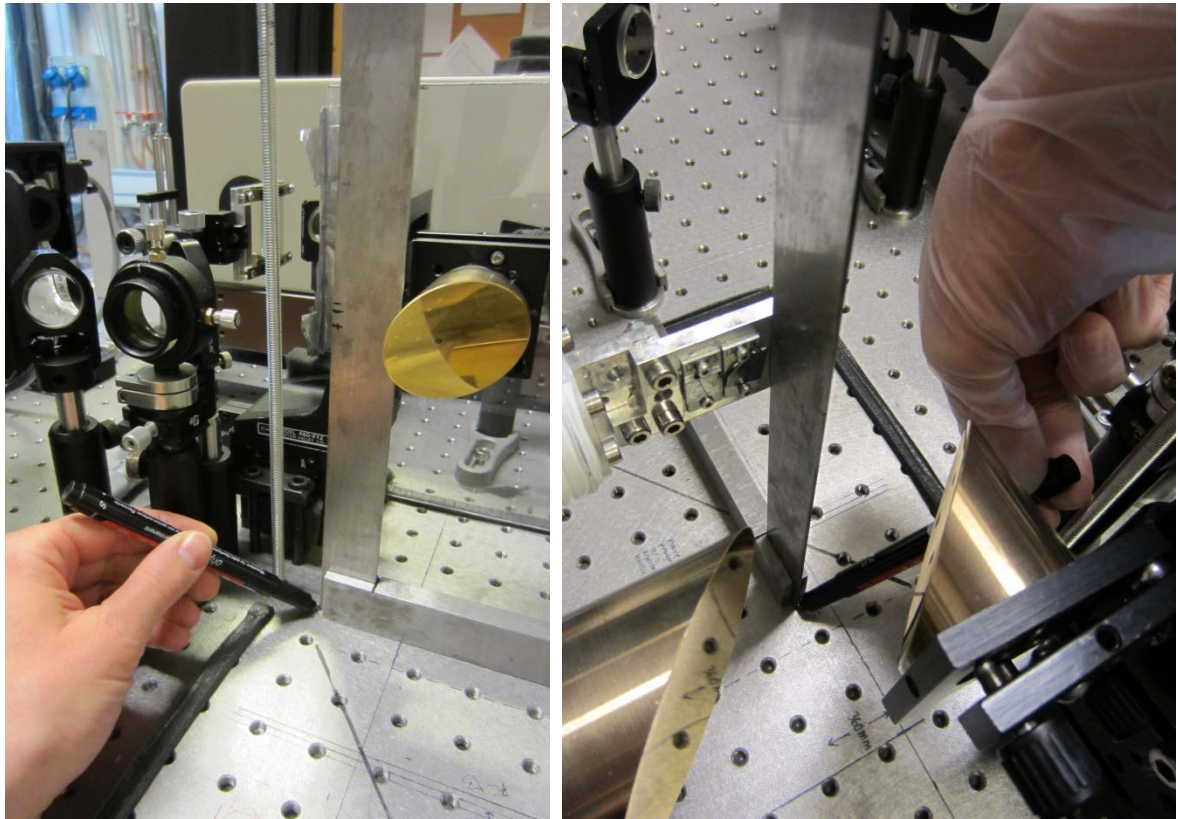
Nødvendige justeringer av G1, G2, A eller optiske elementer inne i spektrometeret må gjøres før opplinjering av laserne. Det har ikke vært rutine å gjennomgå fotoluminesensens strålegang for hver opplinjering av IR- og rød laser. Er det imidlertid mistanke om at én eller flere av komponentene mellom prøveposisjonen og detektoren ikke er optimalt plassert/justert, må strålegangen mellom prøve og detektor gjennomgås. Det anbefales dessuten å gjøre en gjennomgang i forbindelse med opplinjering av laserne dersom utstyret har vært mye i bruk siden forrige gang dette ble gjort. Figur 2.1 viser strålegangen internt i spektrometeret. Vær oppmerksom på at enhver justering av optiske komponenter mellom prøveposisjonen og detektoren vil utløse behov for en fullstendig gjennomgang av strålegangen til fotoluminesensen.



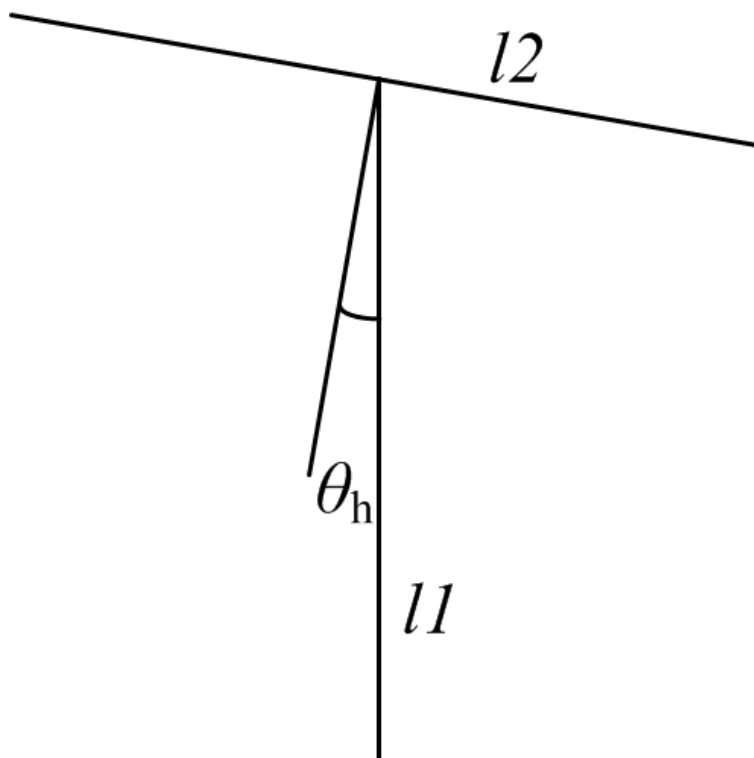
Figur 2.1 Optiske elementer i spektrometeret med inntegnet strålegang for vårt oppsett.

Vi ønsker at laserstrålens retning inn mot prøven skal være parallell med prøvens overflatenormal. En tenkt akse langs hullet i gullspeilet må derfor også være parallell med prøvens/ kaldfingerens overflatenormal. Dette er spesielt viktig for målinger der laserstrålens posisjon på prøven er kritisk. Dersom laserstrålen ikke er helt parallell med prøveoverflatens normal anbefales det å vurdere hvor viktig dette er for aktuelle målinger før det gjøres justeringer på G1. Nedenfor følger forslag til fremgangsmåte for å bestemme vinkelen mellom hullet i G1 og prøvens/ kaldfingerens overflatenormal. Nødvendig utstyr er:

- 90° vinkel (metallvinkel finnes i skuffereol med verktøy).
 - Tusj.
 - Linjal.
 - Gradeskive.
1. Legg vinkelen inntil G1s sideflate på den siden av speilet som vender mot rød laser og merk av med tusj punktet der vinkelens hjørne treffer optikkbordet. Dette er vist i Figur 2.2. Gjør det samme én gang til, men plasser nå vinkelen lengst mulig unna det første punktet. Bruk linjalen til å tegne en linje $l1$ på optikkbordet, som passerer gjennom de to punktene. $l1$ vil være parallell med hullet i gullspeilet sin projeksjon på bordoverflaten.
 2. Legg vinkelen inntil kaldfingerens overflate og merk av med tusj punktet der vinkelens hjørne treffer optikkbordet. Dette er vist i Figur 2.2. Gjør det samme én gang til, men plasser nå vinkelen lengst mulig unna det første punktet. Bruk linjalen til å tegne en linje $l2$ på optikkbordet, som passerer gjennom de to punktene. Et tenkt plan som står vinkelrett på optikkbordets overflate og skjærer bordoverflaten langs $l2$ vil være parallell med kaldfingerens overflate.
 3. Forleng $l1$ og $l2$ slik at de krysser hverandre og tegn inn normalen til $l2$, slik at den passerer gjennom krysspunktet mellom $l1$ og $l2$ (Figur 2.3).
 4. Mål vinkelen θ_h mellom $l1$ og normalen til $l2$ (Figur 2.3).
 5. Mål høyden $h1$ mellom optikkbordet og senter av hullet i G1, på krum side av speilet.
 6. Mål høyden $h2$ mellom optikkbordet og senter av hullet i G1 på plan side av speilet. Hullet har diameter 8 mm de første 7 mm inn i speilet (målt fra plan side av speilet), før det får samme diameter som ved utgangen på krum side ($\varnothing = 2,5$ mm).
 7. Beregne hullets vinkel relativt optikkbordet: $\theta_v = \text{asin}((h1 [\text{mm}] - h2 [\text{mm}])/26)$.
 8. Hullet i G1 skal ha samme høyde over optikkbordet som lasernes utgang (14 cm). Vurder, på bakgrunn av resultatene for θ_h , θ_v , $h1$ og $h2$ om det er nødvendig å justere G1.



Figur 2.2 Inntegning av $l1$ (venstre) og $l2$ (høyre) på optikkbordet.



Figur 2.3 Vinkelen θ_h mellom $l1$ og normalen til $l2$.

Ved en gjennomgang av hele strålegangen fra prøveposisjonen til detektoren (D2, Figur 2.1) er det hensiktsmessig å begynne med strekningen mellom prøveposisjonen og beamsplitteren (BS, Figur 2.1). Deretter gjennomgås hele strålegangen fra prøveposisjonen til D2. Nedenfor følger et forslag til fremgangsmåte for gjennomgang og opplinjering av fotoluminesensens strålegang.

1. Løft av spektrometerets deksel.
2. Fjern filter for blokkering av eksitasjonslaserne.
3. Fyll flytende nitrogen på detektoren og skru på spektrometeret.
4. Stopp speilbevegelsen ved å vippe bryteren på interferometeret fra "E" til "A".
5. Mål avstanden l_{PAC} mellom plant speil P og innvendig apertur AC (Figur 2.1). A skal stå i avstand l_{PAC} fra P, men det anbefales å vente med og plassere A i strålegangen fordi en evt. senere forflytning av P vil påvirke posisjonen til A.
6. Påse at G2 er plassert slik at den plane sidens overflatenormal peker mot nærmeste vegg og står vinkelrett på en tenkt akse langs P-A (se Figur 1.1 og Figur 2.1). En forlengelse av overflatenormalen som passerer gjennom sentrum av skruehullet på plan side av G2 skal skjære en forlengelse av P-A i avstanden 250 mm fra A.
7. Påse at G1 er plassert med plan side mot spektrometeret slik at en tenkt strålebunt fra prøven mellom G1 og G2:
 - a. Har retning vinkelrett på en tenkt akse langs P-A (se Figur 1.1 og Figur 2.1).
 - b. Propagerer parallelt med optikkbordets overflate.
8. Påse at G1 ikke er plassert for nær G2, slik at G1 blokkerer for stråling mellom G2 og A.
9. Merk deg at prøveposisjonen er 92,2 mm fra plan side av G1, i retning bort fra spektrometeret. Se notat om forskyvning av fokuspunkt ved passasje av kryostatvindu i faktaboksen på neste side.
10. Skru av lyset i rommet.
11. Bruk et hvitt ark til å følge lyset fra spektrometerets interne laser mellom BS og G2. Juster P og K (Figur 2.1) slik at:
 - a. Spektrometerets interne laser fokuseres utenfor spektrometeret, i avstand l_{PAC} fra P (Figur 2.1). Vær oppmerksom på at justering av P og K vil kunne innvirke på posisjonen til A, G2 og G1.
 - b. Spektrometerets interne laser propagerer i samme høyde over optikkbordet som eksitasjonslaserne (14 cm).

Forskyvning av fokuspunkt ved passasje av vindu

Fokuspunktet til en konvergerende stråle som passerer et vindu med tykkelse t og brytningsindeks n forskyves med avstanden $t(1-n^{-1})$ relativt fokuspunktets posisjon i friluft. Vi ser at for $n > 1$ vil forskyvningen være positiv, dvs. at vinduet øker avstanden fra det fokuserende optiske elementet og til fokuspunktet. Kryostatthetta har BaF₂-vinduer med tykkelse 3 mm. For bølglengdeområdet som er aktuelt for fotoluminesensoppsettet gir innsetting i uttrykket over at forskyvningen av fokuspunktet vil variere fra 0,96 mm ($\lambda = 678$ nm – rød laser) til 0,87 mm ($\lambda = 10$ μ m). Legg merke til at ved forsidebelysning forskyves fokuspunktet til laserne og fokuspunktet til fotoluminesensen omtrent like langt i retning bort fra spektrometeret. Ved baksidebelysning vil imidlertid IR-laserens fokuspunkt forskyves i retning spektrometeret.

Ved opplinjering legges IR-laserens fokuspunkt til G1s fokuspunkt i friluft (92,2 mm fra plan side av G1) både for bakside- og forsidebelysning. I teorien vil vi altså ved baksidebelysning ha en avstand på opptil 1,8 mm mellom laserens og fotoluminesensens fokuspunkt. Dette kunne løses ved å legge IR-laserens fokuspunkt i friluft 1,8 mm lenger fra spektrometeret enn posisjonen for G1s fokuspunkt i friluft, altså 94 mm fra G1s plane side. Hovedgrunnen til at vi ikke har gjort dette er at usikkerheten i oppmålingen av avstanden fra LIR til prøveposisjonen er betydelig større enn 1,8 mm både for forsidebelysning (via S3 og S4) og for baksidebelysning (via SB1, SB2, SB3 og SB4). Vi aksepterer en usikkerhet i posisjonen til IR-laserens fokus fordi vi har sett at laserens fokus ikke er skarpt, slik at spoten har samme størrelse og form over en viss distanse. Dette er illustrert i Figur 2.4, som viser IR-laserens stråle reflektert fra henholdsvis forsiden (øverst) og baksiden (nederst) av IR-fused silica under opplinjering av IR-laseren. Vi ser at strålene har samme størrelse og form selv om strålen som er reflektert fra baksiden har propagert ca. 15 mm lenger enn strålen som er reflektert fra forsiden. Tap i materialet vises som noe svakere intensitet i strålen som er reflektert fra baksiden.

12. Vipp bryteren på interferometeret tilbake til “E” og skru av spektrometeret.
13. Skru på lyset.
14. Plasser A i avstand l_{PAC} fra P (Figur 2.1).
15. Juster om nødvendig θ_h og θ_v ved å skru på justeringsskruene på G1s holder slik at laserstrålen kommer inn mot prøven parallelt med prøvens overflatenormal. θ_h og θ_v er beskrevet tidligere i dette kapittelet.
16. Juster om nødvendig G1s høyde med z-mikrometerskruen, slik at sentrum av hullet har høyde 14 cm over optikkbordet. Om nødvendig kan G1 justeres langs aksen P-A med

tilhørende mikrometerskrue på et senere tidspunkt i opplinjeringen uten at θ_h og θ_v endres.

17. Skru på opplinjeringlaseren og juster om nødvendig SHeNe1 og SHeNe2 slik at laseren passerer gjennom hullet i G1.

18. Plasser en gjenstand som sprer laserlyset diffust, for eksempel en trekloss pålimt papir, i prøveposisjonen. Det er viktig at treklossen er plassert nøyaktig i prøveposisjonen for at strålebunten skal være parallell mellom G1 og G2 og dermed fokuseres i fokuspunktet til G2. Vær oppmerksom på at strålingens utstrekning i fokuspunktet vil være en faktor 3,6 ganger større enn opplinjeringlasereas arealet da forstørrelsen er gitt ved forholdet mellom fokallengdene til G2 og G1 (250/69). Vær også oppmerksom på at G1 og G2 er laget for IR-stråling og dermed sannsynligvis har en større ruhet i overflaten enn hva som er optimalt for rødt lys. Dette fører til at avbildningen av opplinjeringlaseren ikke vil være god. Utstrekningen av opplinjeringlasereas stråle vil dessuten gi noe aberrasjonseffekt i G1 og G2.

19. Skru av lyset.

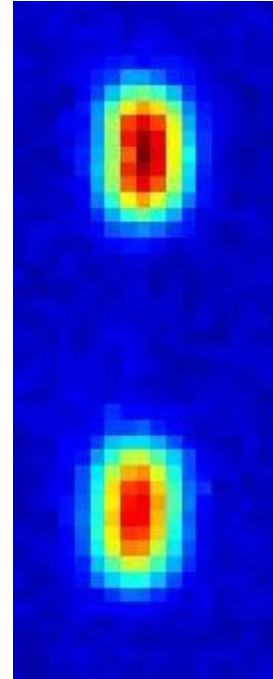
20. Følg strålen hele veien fra prøveposisjonen til D2 ved hjelp av et hvitt papirark. Sjekk følgende:

- c. At hele strålebunten treffer innenfor alle speil mellom G1 og detektoren.
- d. At strålebunten er parallell mellom G1 og G2 og ellers der parallell strålebunt er inntegnet i Figur 2.1.
- e. At strålediameteren har lokalt minimum i posisjonen for A samt "Sample Position" (Figur 2.1).
- f. At strålebunten fokuseres på detektorelementet (D2, Figur 2.1).

21. Juster aktuelle optiske elementer dersom ett eller flere av punktene a-d ovenfor ikke er oppfylt. Unngå å justere P og K, og juster G1 kun langs aksene P-A da disse speilene allerede er helt eller delvis låst til eksisterende posisjon gjennom krav om avstand l_{PAC} fra A til P og loddrett innfall på prøven.

22. Skru på lyset.

23. Legg på spektrometerets deksel.



Figur 2.4 IR-lasereas reflektert fra forsiden (øverst) og baksiden (nederst) av IR-fused silica.

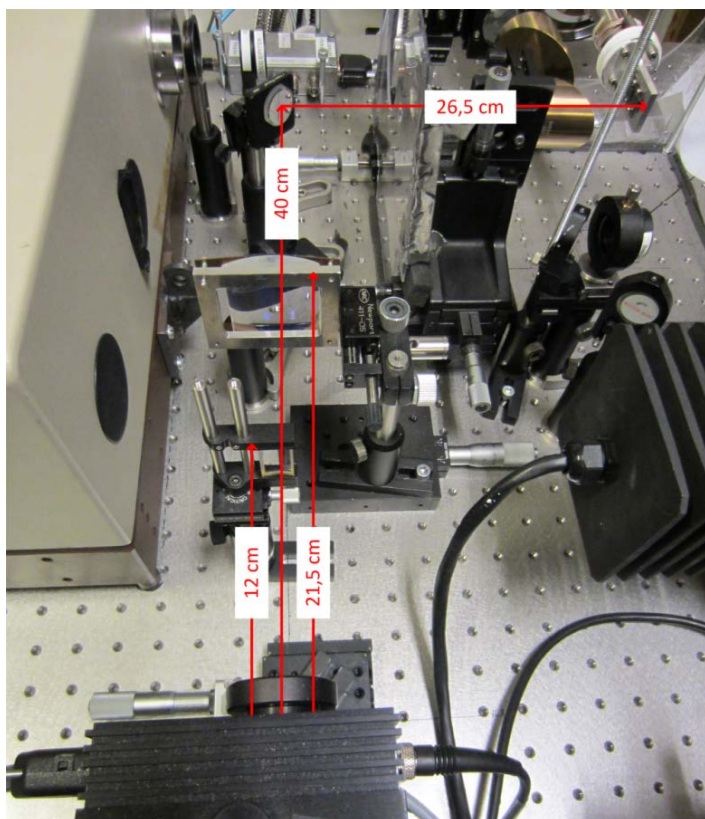
3 Rød laser

3.1 Tekniske spesifikasjoner

Begrepet rød laser brukes her om en 678 nm laserdiode fra Coherent montert på et termoelektrisk element for temperaturkontroll. Det termoelektriske elementet reguleres av kontrollboksen LDT-5910 på bakgrunn av temperaturavhengig motstand i tilhørende termistor.

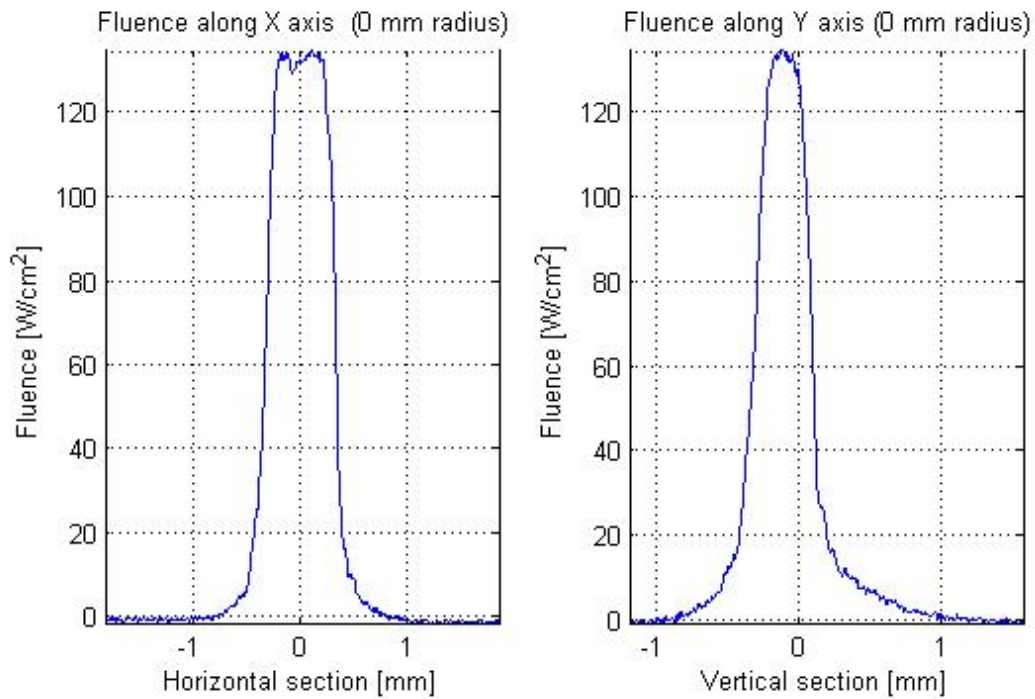
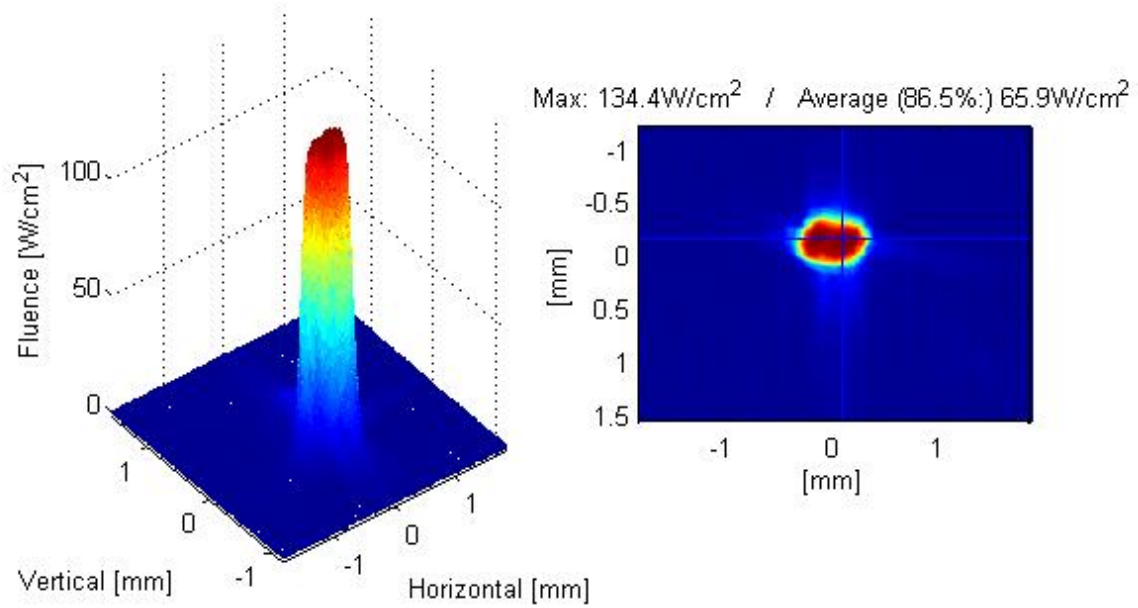
Tre eksterne linser LR1, LR2 og LR3 (Figur 1.1) fokuserer emittert stråling i prøveposisjonen. Pr. oktober 2014 er det 40 cm fra rammen rundt holderen som laserdioden er montert på til sentrum av S4. Fra sentrum av S4 og til prøveposisjonen er avstanden 26,5 cm. Videre er det 12 cm fra den sorte plastrammen LR2 er montert i og til laserholderens ramme og 21,5 cm fra metallrammen LR3 er montert på og til laserholderens ramme. Alle avstander er inntegnet i Figur 3.1. Målene antas å ha noen mm usikkerhet. L1 er plassert svært nær laserdioden, og et forsøk på å måle avstanden mellom L1 og laserdioden ville kunne skadet laserdioden eller skjøvet L1 ut av posisjon.

Laserstrålens intensitet, størrelse og form i prøveposisjonen avhenger av strømmen gjennom laserdioden, I_{laser} , som justeres med kontrollboksen SDL 800. Stråleprofil i prøveposisjonen er vist i Figur 3.2 for $I_{\text{laser}} = 838$ mA. Tabell 3.1 inneholder en oversikt over den røde laserens egenskaper.



Figur 3.1 Avstand mellom rammen til laserdiodens holder og henholdsvis LR2, LR3 og S4. Avstanden mellom S4 og prøveposisjonen er også angitt.

838 mA.LB7 / Power : 0.38W



Figur 3.2 Stråleprofil i prøveposisjonen ved $I_{\text{laser}} = 838 \text{ mA}$ pr. 2013-01-14.

Tabell 3.1 Den røde laserens egenskaper.

Parameter	Beskrivelse/ verdi
Produsent	Coherent
Bølgelengde, λ	678 nm
Vernebriller	Blå Laser Vision merket 62.0P0.004.00
Fareklasse	3B
Terskelstrøm (prøveposisjon)	Vi bruker $I_{\text{laser}} = 380$ mA som grense for bruk av vernebriller. Målt effekt i prøveposisjonen ved $I_{\text{laser}} = 380$ mA er 3 mW (juli 2014).
Makseffekt pr. juli 2014 (målt i prøveposisjonen ved $I_{\text{laser}} = 841$ mA).	374 mW
Kontrollboks for I_{laser}	SDL 800
Kontrollboks for kjøling	LDT-5910 $C1 = 1,124$ $C2 = 2,354$ $C3 = 0,809$

3.2 Opplinjering

I kapittel 3.2.2 nedenfor finnes forslag til fremgangsmåte for opplinjering av den røde laseren i fotoluminesensoppsettet. Utstyrliste for opplinjeringen finnes i kapittel 3.2.1. Dersom det ikke samtidig planlegges å opplinjere IR-laseren må ikke S4 justeres under opplinjering av den røde laseren. Dette fordi S4 brukes av både IR-laseren og den røde laseren.

3.2.1 Utstyr

- Kamera: Pulnix TM-6 (lasergruppa) inkl. sort, sirkulært deksel (Figur 3.3) for blokkering av laserstrålen som kan skrus fast enten på kameraet eller på påmontert filter.
- Dempefiltre (Figur 3.3).
- Effektmeter: Ophir Orion/TH.
- Unbrakonøkkel for justering av speil.
- Beskyttelsesbriller for 678 nm stråling.

Det anbefales å ta kontakt med lasergruppa noen dager før planlagt opplinjering for å avtale lån av kameraet. Det kan være vanskelig å finne passende dempefiltre fordi disse ofte er i bruk av lasergruppa og ligger spredt rundt på laserlabene. Spør noen fra lasergruppa dersom du ikke finner filtre eller er usikker på hvilke som kan brukes.

3.2.2 Justere laserstrålens posisjon og størrelse

1. Påse at de tre linsene som fokuserer den røde laserens stråle i prøveposisjonen er plassert omtrent som beskrevet i kapittel 3.1.
2. Plasser Pulnix TM-6 slik at kameraets sensor står i prøveposisjonen. Sensorens plassering er inntegnet med grønn tusj på kameraet.
3. Monter ett filter med god demping på kameraet, og monter det sorte, sirkulære dekslet på dette filteret. Deksel og dempefilter er vist i Figur 3.3. For den røde laseren vil dempefiltrene fremstå som ugjennomsiktige.
4. Monter 2-3 filtre med mindre demping enn filteret som er montert på kameraet på en passende holder. Filteret med minst demping skal stå nærmest laseren. Plasser holderen i strålegangen, mellom den røde laseren og Pulnix TM-6.



Figur 3.3 Deksel for blokkering av laserstrålen og typisk filter for demping av laserstrålen.

5. Skru på den røde laseren og juster strømmen til ca. 500 mA.
6. Undersøk om laserstrålen passerer gjennom hullet i G1. Dersom laseren ikke passerer gjennom G1 må posisjonen til laseren og/ eller ekstern optikk (L1, L2, L3, S4) justeres. Laseren kan justeres i tre retninger. L1 og L2 kan justeres horisontalt, i retning vinkelrett på retningen for laserstrålens propagasjon. L3 kan justeres i samme retning som L1 og L2, i tillegg til at linsen kan justeres i laserens propagasjonsretning. S4 kan justeres med skruer på speilholderen, eller flyttes ved å løsne skruen på holderens fot. Det er ikke mulig å beskrive en fremgangsmåte for å få den røde laseren gjennom hullet i G1 som dekker alle situasjoner. Juster aktuelle komponenter på bakgrunn av observert strålegang og spot, slik at laseren passerer hullet i G1.

7. Flytt om nødvendig Pulnix TM-6 slik at laserstrålen treffer midt på det sirkulære dekselet. Sensoren må fortsatt stå i prøveposisjonen.
8. Skru på PC tilhørende Pulnix TM-6 og start programvaren ved å følge punktene a-b i faktaboksen i slutten av dette avsnittet.
9. Trykk på “start” i programvaren.
10. Skru I_{laser} helt ned.
11. Fjern det sorte dekselet fra kameraet.
12. Øke I_{laser} til f. eks. 665 mA mens det følges nøye med på om noen av kameraets piksler går i metning. I tilfelle skrues I_{laser} ned til 0 mA og én eller begge av følgende gjøres:
 - a. Antall filtre økes.
 - b. Filter med lav demping byttes ut med filter med sterkere demping.
13. Mens laserstrålen vises på skjermen justeres posisjonen til laseren og/ eller ekstern optikk slik at laserstrålen i prøveposisjonen har:
 - a. Lite areal.
 - b. Uniform intensitet over så stor del av strålen som mulig.
 - c. Minst mulig strølys.
14. Når laserstrålen ser tilfredsstillende ut for aktuell I_{laser} justeres I_{laser} fra terskelverdien til maksverdi. Pass hele tiden på at antall og type dempefiltre er passende, slik at ingen piksler går i metning. Skru I_{laser} helt ned når det gjøres endringer på filtersammensetningen.
15. Dersom laserstrålens form og størrelse er tilfredsstillende for alle I_{laser} trykkes “stop” i programvaren. I motsatt fall må det gjøres justeringer på laseren og/ eller optiske elementer (L1, L2, L3 og evt. S4) helt til laserstrålen er tilfredsstillende for alle I_{laser} . Trykk deretter “stop” i programvaren.
16. Skru ned I_{laser} til under terskelverdien.
17. Fjern Pulnix TM-6.
18. Fjern holder med filtre dersom det har vært behov for å bruke en slik.
19. Nullstill effektmeteret med funksjonen “zero”. Se evt. effektmeterets manual.

20. Plasser effektmeteret i nærheten av prøveposisjonen og bestem I_{laser} for alle planlagte lasereffekter. I_{laser} justeres i steg på 1 mA og det vil ikke alltid være mulig å treffe nøyaktig på planlagt lasereffekt. Bruk nærmeste verdi for I_{laser} og lasereffekt.
21. Skru I_{laser} helt ned.
22. Fjern effektmeteret.
23. Sett tilbake Pulnix TM-6 påmontert det sorte dekselet, slik at sensoren står i prøveposisjonen og laserstrålen treffer i sentrum av det sorte dekselet.
24. Sett tilbake evt. holder med filtre.
25. Trykk på “start” i programvaren.
26. Ta bilde av laserstrålen for alle aktuelle I_{laser} som beskrevet i faktaboksen nedenfor. Pass hele tiden på at ingen piksler går i metning og juster antall dempefiltre etter behov. Som hovedregel bør strålen dempes slik at kameraet akkurat ikke går i metning for å få en mest mulig detaljert stråleprofil.

Måling av den røde laserens stråleprofil med Pulnix TM-6:

- a. Åpne programmet LBA 300PC-4.
- b. I menyen “Options” → “Camera”: Velg Pulnix TM-6, res 1x (512x480) og pikselstørrelse 8.3 μm .
- c. Mål først bakgrunnen med funksjonen “Ultracal”.
- d. Trykk “start” for å starte måling, “stop” for å avslutte.
- e. Lagring: “File” → “save as”.

3.3 Avgrensning av område definert som stråle i programvaren for beregning av stråleprofil

Rød laser har en god del strølys utenfor den mest intense delen av strålen. Mengden strølys vil avhenge av hvor godt man lykkes i å samle strålen under opplinjering og vil følgelig variere fra opplinjering til opplinjering. Dette kommer tydelig fram ved sammenlikning av stråleprofilene i Figur 3.2 (opplinjert 2013-01-14) og Figur 3.4 (opplinjert 2012-11-26), hvor strålen i førstnevnte

figur er mye bedre samlet og har mindre strølyset enn strålen i sistnevnte figur. Beregning av stråleprofiler som vist i Figur 3.2 og Figur 3.4 gjøres i Matlab som beskrevet i kapittel 5.

Ved fotoluminesensmålinger ønsker vi en stråle som er mest mulig uniform, slik at gjennomsnittlig intensitet ligger nær målt intensitet, $I = dP/dA$, over hele laserstrålen. Her er P totaleffekt og A er areal. Nedenfor skal vi se nærmere på hvordan strølyset påvirker beregningen av gjennomsnittlig intensitet. Vi tar utgangspunkt i en tidligere opplinjering som ikke er spesielt god med tanke på samling av strålen, men likevel vurdert som god nok (Figur 3.4 og Figur 3.5).

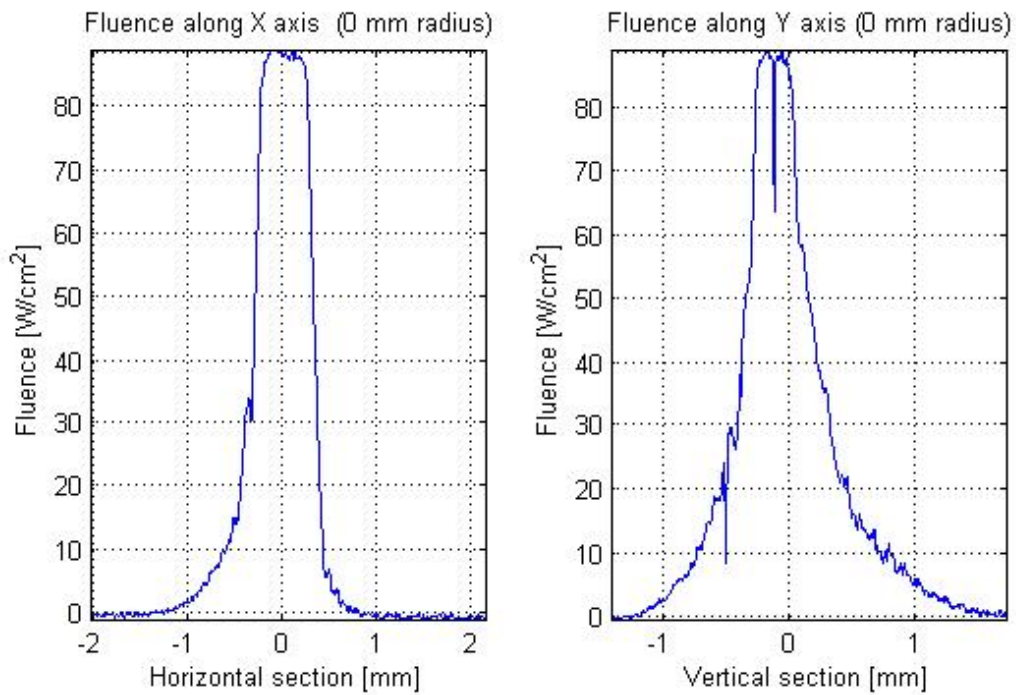
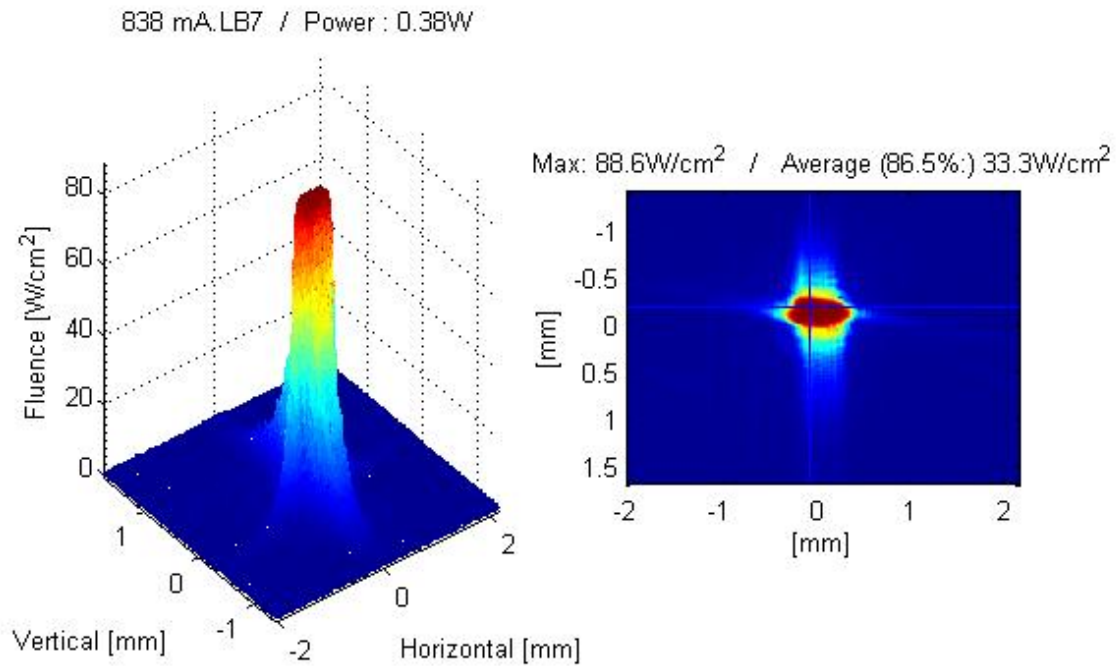
I Figur 3.4 er et stort område rundt den mest intense delen av laserstrålen definert som stråle. Målt totaleffekt fordeles i dette tilfellet over både den mest intense delen av strålen og strølyset ved beregning av gjennomsnittlig intensitet. De to snittene som viser stråleprofilen i x- og y-retning antas å vise reelle verdier for I . Områder med lav intensitet trekker gjennomsnittintensiteten ned, og vi ser av figuren at beregnet verdi for gjennomsnittlig intensitet ($33,3 \text{ W/cm}^2$) ikke gjenspeiler intensiteten i den mest intense delen av laserstrålen ($I \sim 87 \text{ W/cm}^2$). I et forsøk på å få et bedre estimat av gjennomsnittlig intensitet har vi lagt rammen som definerer strålen tettere rundt den mest intense delen av strålen. Dette er vist i Figur 3.5 for samme laserstråle som i Figur 3.4. Dersom strølysets intensitet er lav nok vil denne metoden gi en god tilnærming av verdien for gjennomsnittlig intensitet. Som det fremgår av Figur 3.5 blir beregnet gjennomsnittintensitet hele $144,2 \text{ W/cm}^2$ når hele den målte effekten defineres til å ligge innenfor den mest intense delen av laserspoten. Dette er 66 % høyere enn avlest intensitet i den mest intense delen av strålen (Figur 3.4). En betydelig del av bidraget til totaleffekten kommer altså fra strølyset.

Vi kan gjøre et overslag over hvor stor del av totaleffekten som hører til den mest intense delen av strålen og hvor stor del som tilhører strølyset for laserstrålen i Figur 3.4. Vi begynner med å beregne arealet til den mest intense delen av laserstrålen. Det røde området i plottet øverst til høyre i Figur 3.4 er tilnærmet lik en ellipse med halvaksler a og b , der a og b er hhv. $0,5 \cdot 0,66 \text{ mm}$ og $0,5 \cdot 0,33 \text{ mm}$. Videre er intensiteten i det mest intense området som nevnt $\sim 87 \text{ W/cm}^2$. Totaleffekt i den mest intense delen av strålen blir da:

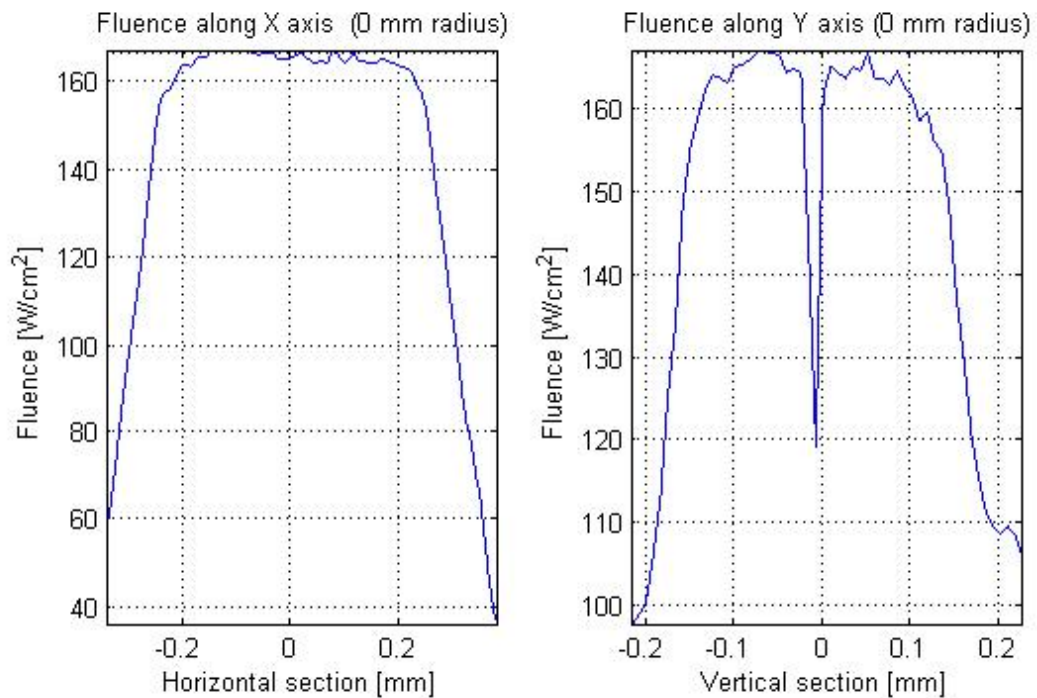
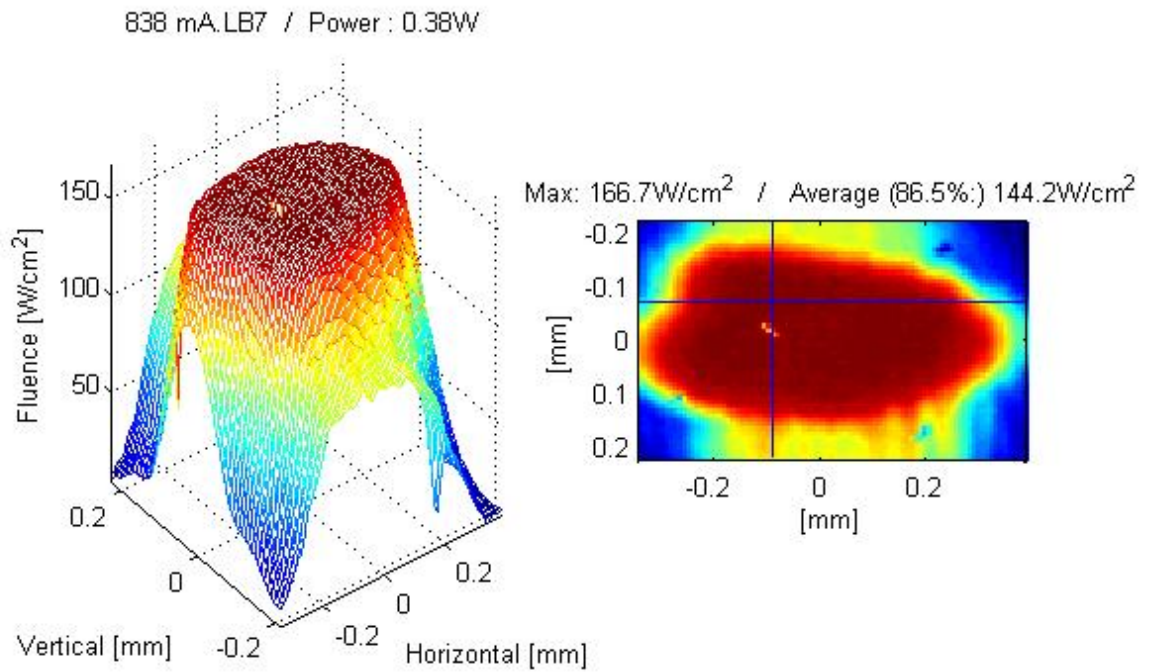
$$P = \pi abI = \pi \cdot 0,5^2 \cdot (0,66 \cdot 10^{-1} \text{ cm}) \cdot (0,33 \cdot 10^{-1} \text{ cm}) \cdot (87 \text{ W/cm}^2) = 0,1487 \text{ W} \approx 149 \text{ mW}$$

Hele $380 - 149 \text{ mW} = 231 \text{ mW}$ ligger altså utenfor den relativt uniforme og mest intense delen av strålen.

På bakgrunn av det ovenstående anbefales det å inkludere strølyset ved avgrensning av laserstrålen. Intensiteten i det relativt flate, intense området leses ut fra plottene som viser fluence vs. horizontal/ vertical section og denne verdien brukes for strålens intensitet.



Figur 3.4 Stråleprofil i prøveposisjonen for $I_{laser} = 838 \text{ mA}$ pr. 2012-11-26. Den plutselige reduksjonen i intensitet like under 0 mm, vertikal retning skyldes ødelagte piksler.



Figur 3.5 Mest intense del av stråleprofil i prøveposisjonen for $I_{\text{laser}} = 838 \text{ mA}$ pr. 2012-11-26. Den plutselige reduksjonen i intensitet like under 0 mm, vertikal retning skyldes ødelagte piksler.

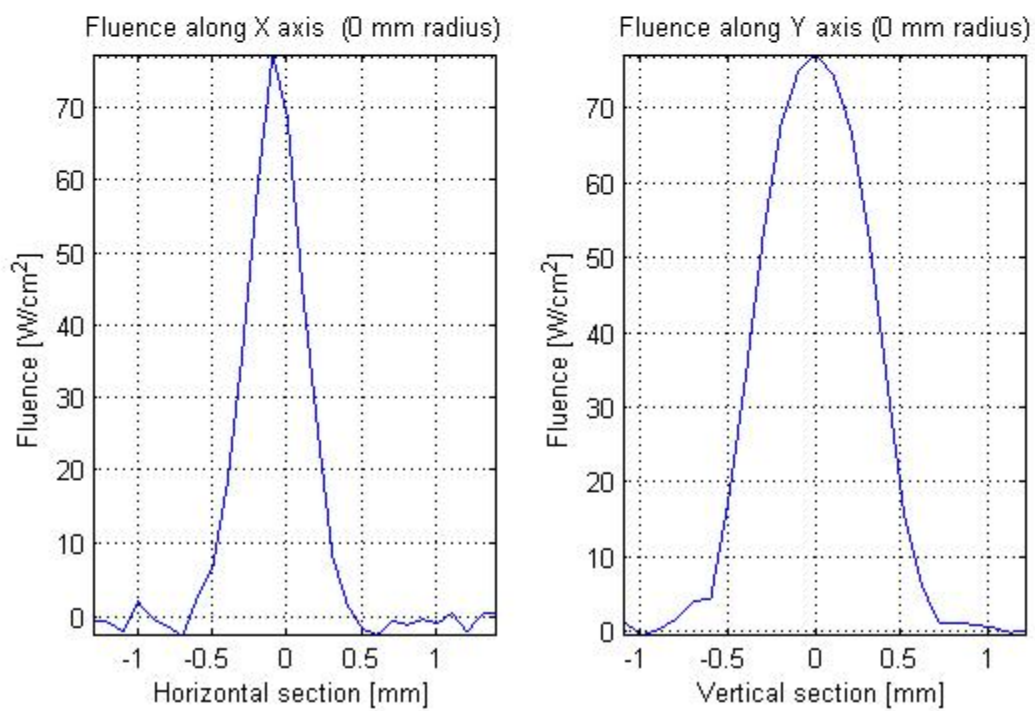
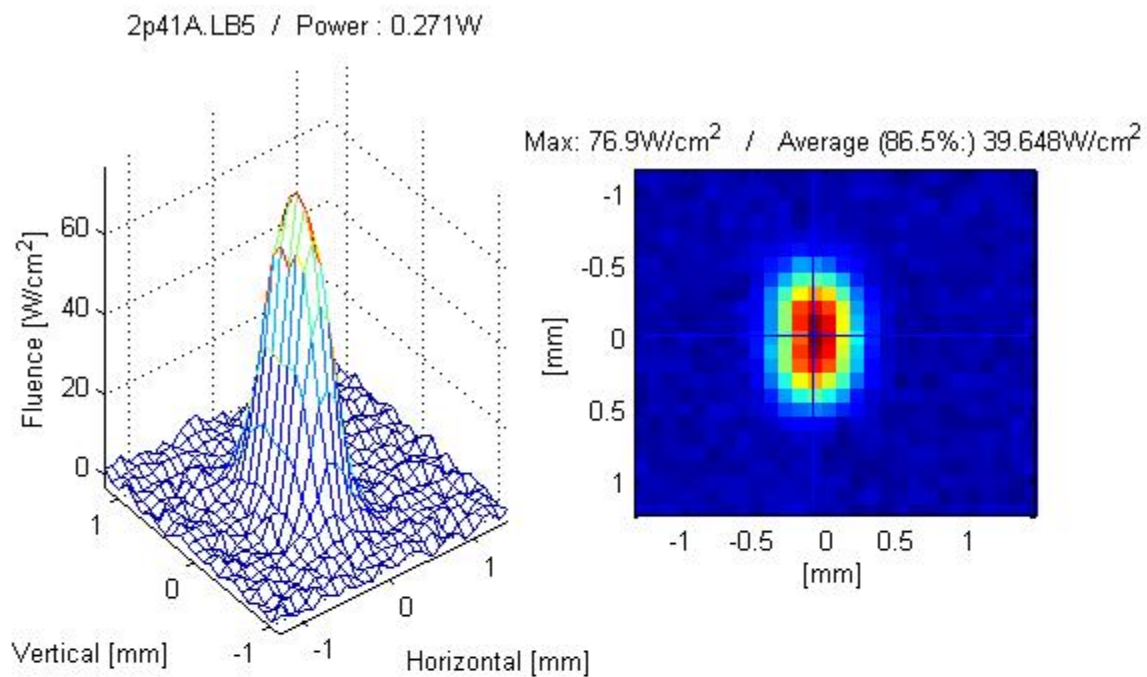
4 IR-laser

4.1 Tekniske spesifikasjoner

IR-laseren er en kompakt enhet bestående av en diodelaser (SDL-2372-P1), Tm:YAG lasermateriale fra Scientific materials og diverse optiske elementer. IR-laseren fungerer ved at en strøm, I_{diode} , sendes gjennom diodelaseren, som emitterer ved ca. 790 nm og pumper laser materialet [1]. Laser materialet emitterer stråling med bølgelengde 2,01 μm (SW IR), som kollimeres før den når utgangen av laseren. For å oppnå ønsket strålestørrelse i prøveposisjonen er en samlelinse (Eksma CaF2 AR 2,05-2,2 PCX 600 mm) plassert mellom laseren og prøveposisjonen. Figur 4.1 viser IR-laserens stråleprofil i prøveposisjonen ved $I_{\text{diode}} = 2,41 \text{ A}$. En oversikt over IR-laserens egenskaper finnes i Tabell 4.1. Kombinasjonen usynlig og kollimert stråling er potensielt farlig fordi laserstrålen kan propagere over lange avstander med høy intensitet (strålingen spres ikke ut til et stort areal). Emisjonen fra IR-laseren er øyesikker, dvs. at laserlyset absorberes av hornhinnen og væsken i øyeeplet før det når inn til netthinnen. Det er imidlertid fare for å skade hornhinnen dersom laserlyset treffer øyet [1]. Det er derfor viktig å ha kontroll på laserstrålens effekt og strålegang til enhver tid, i tillegg til at beskyttelsesbriller skal benyttes når laserstrømmen overstiger terskelverdien (1,11 A). Dersom det er usikkerhet rundt laserens strålegang anbefales det å skjerme strålen med plater eller annet som reflekterer laserlyset diffust.

Tabell 4.1 IR-laserens egenskaper.

Parameter	Beskrivelse/ verdi
Bølgelengde, λ	2,01 μm
Vernebriller	Hvite Laser Vision, art. no. 018.T0096.00
Fareklasse	3B
Terskelstrøm	1,11 A
Makseffekt ved laserens utgang pr. juli 2014	350 mW ($I_{\text{diode}} = 2,54 \text{ A}$)
Kontrollboks for 790 nm diodelaser	SDL822
Spotstørrelse ved utgangen	2,1 x 3,6 mm
Spotstørrelse i prøveposisjonen	0,4 x 0,8 mm ($I_{\text{diode}} = 2,41 \text{ A}$)



Figur 4.1 Stråleprofil i prøveposisjonen ved $I = 2,41$ A pr. 2014-06-10.

4.2 Historikk

IR-laseren er bygget av Gunnar Rustad på slutten av 1990-tallet og er beskrevet i detalj i FFI-rapport 98/02171 [1].

IR-laseren ble første gang installert i daværende PL-oppsett på Epitek målelab (rom 203D/185) ved årsskiftet 2006/2007. På dette tidspunktet var laserstrålen elliptisk ($\sim 0,7 \text{ mm} \times 1,1 \text{ mm}$ full width at half maximum, FWHM) og gaussisk i prøveposisjonen for de høyeste I_{diode} . For de laveste I_{diode} var strålen sirkulær. Etter flytting av laseren til nytt optikkbord våren 2010 endret laserstrålen både størrelse og form. Pr. desember 2012 hadde IR-laserens stråle i prøveposisjonen en størrelse på $0,9 \text{ mm} \times 1,6 \text{ mm}$ FWHM. Størrelsen hadde altså økt sammenliknet med 2006/2007. Laserstrålen var dessuten ikke lenger gaussisk, men hadde to maksima innenfor området med høyest intensitet. Strålen var fortsatt elliptisk. Sannsynligvis var den ikke-gaussiske stråleprofilen forårsaket av støt mot laseren under flytting til nytt optikkbord i 2010. Vi tror at laserens resonatorspeil har kommet ut av posisjon, slik at laseren etter flytting oscillerte på en høyere ordens transversal mode.

Gunnar justerte i desember 2012 resonatorspeilet slik at stråleprofilen igjen ble gaussisk (målt med Pyrocam III ved laserens utgang uten eksterne optiske elementer). Målinger med Pyrocam III i forskjellige avstander fra laserens utgang viste at strålen er ganske kollimert, med FWHM $\sim 2,1 \text{ mm} \times 3,6 \text{ mm}$. Før desember 2012 sto det to samlelinser og en spredelinse ved laserens utgang. Disse ble fjernet og erstattet med én samlelinse i avstand 60 cm fra prøveposisjonen: Eksma CaF2 AR 2,05-2,2 PCX 600 mm.

4.3 Opplinjering

Nedenfor følger et forslag til fullstendig fremgangsmåte for opplinjering av IR-laseren og tilhørende opplinjeringslaser. Utstyrliste for opplinjeringen finnes i kapittel 4.3.1. For at laserstrålen skal treffe prøven må den passere gjennom hullet i G1. Fremgangsmåte for å bestemme om laserstrålen passerer gjennom hullet finnes i kapittel 4.3.2. Kapittel 4.3.3 inneholder forslag til fremgangsmåte for å få laserstrålen gjennom hullet i G1. Dersom det konkluderes med at laserstrålen passerer gjennom hullet etter å ha utført punktene i kapittel 4.3.2 er det ikke nødvendig å utføre punktene i kapittel 4.3.3. Når laserstrålen passerer gjennom hullet i G1 brukes kamera til å justere strålens posisjon og størrelse i prøveposisjonen, som beskrevet i kapittel 4.3.4. Etter at IR-laseren er ferdig opplinjert må speilene SHeNe1 og SHeNe2 justeres slik at opplinjeringslaseren overlapper med IR-laseren langs hele strålebanen. Fremgangsmåte for dette finnes i kapittel 4.3.5. Kapittel 4.3.6 beskriver hvordan I_{laser} finnes for aktuelle lasereffekter. På grunn av termiske effekter i kameraet kan bildene som er tatt av laserstrålen i prøveposisjonen kun brukes til å bestemme strålens posisjon og størrelse. I kapittel 4.3.7 finnes en prosedyre for å bestemme nøyaktig stråleprofil. Opplinjering av speilene for baksidebelysning (SB1 – SB4) er beskrevet i kapittel 4.3.8.

Det er viktig at S4 aldri justeres under opplinjering av IR-laseren dersom det ikke planlegges å også opplinjere rød laser. S4 brukes av både den røde laseren og IR-laseren.

For å ha kontroll over både laserstrålens retning og dens posisjon trenger man enten to justerbare speil eller ett speil som både er justerbart og kan flyttes. I fremgangsmåten nedenfor brukes begge metoder, avhengig av hva som er mest praktisk.

4.3.1 Utstyr

- Kamera: Pyrocam III (lasergruppa) inkl. sort, sirkulært deksel (Figur 3.3) for blokkering av laserstrålen som kan skrus fast på kameraet eller påmontert filter.
- Dempefiltre (Figur 3.3).
- Effektmeter: Ophir Orion/TH.
- To justerbare aperturer.
- IR-fused silica.
- Unbrakonøkkel for justering av speil.
- Målebånd.
- Beskyttelsesbriller for 2,01 μm stråling.

Det anbefales å ta kontakt med lasergruppa noen dager før planlagt opplinjering for å avtale lån av kameraet. Det kan være vanskelig å finne passende dempefiltre fordi disse ofte er i bruk av lasergruppa og ligger spredt rundt på laserlabene. Spør noen fra lasergruppa dersom du ikke finner filtre eller er usikker på hvilke som kan brukes.

4.3.2 Undersøk om laserstrålen passerer gjennom hull i G1

1. Påse at vippespeil SB1 er vippet ned.
2. Nullstill effektmeteret med funksjonen "zero". Se evt. effektmeterets manual.
3. Skru på IR-laseren og juster I_{diode} til f. eks. 1,95 A.
4. Bruk effektmeteret til å måle lasereffekten etter hullet i G1, i nærheten av prøveposisjonen. For å sikre at laserintensiteten der strålen treffer effektmeteret ikke blir for høy bør effektmeteret plasseres med litt avstand til prøveposisjonen.
5. Dersom effektmeteret viser en måling i nærheten av 0 mW ved prøveposisjonen passerer ikke laserstrålen gjennom hullet i gullspeilet. Gå videre fra kapittel 4.3.3.
6. Dersom laserstrålen helt eller delvis passerer gjennom hullet i G1 vil effektmeteret vise en måling > 0 mW. I tilfeller der effekten bak G1 er lav (noen få mW) vil det være usikkert om den målte effekten skyldes laseren eller variasjon i bakgrunnsstrålingen. Dette kan man enkelt finne ut av ved å endre I_{diode} og se om også målt effekt endrer seg. Dersom effekten ikke endrer seg: Gå videre fra kapittel 4.3.3.
7. Skru ned I_{diode} til under terskelverdien.
8. Plasser effektmeteret mellom S2 og S3.
9. Skru opp I_{diode} til f. eks. 1,95 A.
10. Mål laserstrålens effekt mellom S2 og S3.
11. Skru ned I_{diode} til under terskelverdien.

12. Plasser effektmeteret i nærheten av prøveposisjonen.
13. Skru opp til samme I_{diode} som ved måling mellom S2 og S3.
14. Juster/ flytt S3 slik at effekten i prøveposisjonen maksimeres og er sammenliknbar med effekten målt mellom S2 og S3.
15. Skru av IR-laseren.
16. Gå videre fra kapittel 4.3.4.

4.3.3 Få laserstrålen gjennom hull i G1

1. Start med å tegne opp planlagt strålegang mellom IR-laserens utgang og S3 med tusj på optikkbordet dersom dette ikke allerede er gjort (tusjen slites bort med tiden). Laserens høyde over optikkbordet skal være 14 cm.
2. Bruk effektmeteret til å måle lasereffekten etter S1 for $I_{\text{diode}} = 1,95 \text{ A}$.
3. Skru ned I_{diode} til under terskelverdien.
4. Monter de to aperturere i magnetiske bordholdere slik at aperturens åpning har sentrum i samme høyde over optikkbordet som laseren (14 cm). Åpne aperturere slik at hullet har diameter 4 mm.
5. Plasser effektmeteret så nær S2 som mulig, slik at planlagt strålegang treffer sensoren.
6. Plasser de to aperturere mellom S1 og effektmeteret i så stor avstand fra hverandre som mulig og slik at planlagt strålegang går gjennom sentrum av aperturenes hull.
7. Juster I_{diode} til 1,95 A
8. Juster/ flytt S1 til målt effekt er den samme som ved målingen rett etter S1.
9. Skru ned I_{diode} til under terskelstrøm.
10. Plasser effektmeteret så nær S3 som mulig, slik at planlagt strålegang treffer sensoren.
11. Plasser de to aperturere mellom S2 og effektmeteret i så stor avstand fra hverandre som mulig og slik at planlagt strålegang går gjennom sentrum av aperturenes hull.
12. Juster om nødvendig LIR slik at lensens optiske akse ligger langs planlagt strålegang.
13. Juster strømmen til $I_{\text{diode}} = 1,95 \text{ A}$.
14. Juster S2 og evt. S1 til målt effekt er omtrent den samme som etter S1. Det vil være noe tap i S2 og LIR. Dersom det blir nødvendig å justere S1 flyttes strålen litt mellom S1 og S2, men dette har ingen praktisk betydning for måleoppsettet.
15. Skru ned I_{diode} til under terskelstrøm.
16. Plasser effektmeteret i nærheten av prøveposisjonen slik at planlagt strålegang treffer sensoren.
17. Juster strømmen til $I_{\text{diode}} = 1,95 \text{ A}$.

18. Juster/ flytt S3 til målt effekt er omtrent den samme som ved laserens utgang.

19. Skru I_{diode} helt ned og skru av laseren.

4.3.4 Justere laserstrålens posisjon og størrelse

1. Forsikre deg om at IR-laseren er av.
2. Plasser Pyrocam III, påmontert ett filter med sterk demping, slik at kameraets detektorelement står i prøveposisjonen.
3. Skru på kamera-PC og start programvare iht. fremgangsmåten beskrevet av punktene a-e i faktaboksen nedenfor.
4. Trykk "start" i programvaren. Laseren skal aldri treffe detektoren uten at måling av stråleprofilen vises på PC-skjermen.

Måling av IR-laserens profil med Pyrocam III

- a. Dobbelklikk på ikonet "PyroCam control" på skrivebordet → nytt vindu åpnes.
- b. Radioknappen "Chopped" skal være på, "Gain control" = 1.0.
- c. Trykk på "Calibrate".
- d. Huk av "Launch LBA" → Spiricon-programmet, som brukes til å ta bilde av laserprofilen, starter.
- e. I menyen "Options" → "Camera": Velg "Pyrocam III", "res" 1x og "pikselstørrelse" 100 μm .
- f. Mål først bakgrunnen med funksjonen "Ultracal".
- g. Trykk "start" for å starte måling, "stop" for å avslutte.
- h. Lagring: "File" → "Save as".

5. Skru på laseren og juster I_{laser} til laserstrålen blir synlig på skjermen. Pass på at ingen av pikslene i stråleprofilen er i metning da dette kan skade/ ødelegge pikslene. Skru ned I_{laser} med en gang og monter flere filtre eller bytt til filter med sterkere demping dersom hvite piksler observeres.
6. Juster/ flytt S3 slik at hele laserstrålen passerer hullet i G1 uten å kolliderer med veggen
7. Dersom laserstrålens størrelse skal justeres gjøres dette ved å flytte LIR langs planlagt strålegang.

8. Juster S3 og evt. LIR til stråleprofilen er tilfredsstillende for alle verdier av I_{laser} . Følg nøye med på at ingen piksler går i metning ved justering av I_{laser} .
9. Skru av laseren.
10. På grunn av termiske effekter i Pyrocam III er ikke stråleprofilen målt i prøveposisjonen reell. Målingen vil imidlertid fortelle hvor stor laserstrålen er, og også om laserstrålen treffer veggen i gullspeilets hull. Et notat om dette finnes i faktaboksen nedenfor. Fremgangsmåte for å ta bilde av stråleprofilen finnes i kapittel 4.3.7.

Termiske effekter i Pyrocam III

Ved måling av stråleprofilen til IR-laseren med Pyrocam III i prøveposisjonen i januar 2013 så vi at laserstrålens intensitet var påfallende flat over det mest intense området. Kameraet var ikke i metning. Etter å ha sett bilde av stråleprofilen mente Gunnar Rustad og Magnus Haakestad (lasergruppa) at profilen ikke kunne være reell da strålen er gaussisk ut fra laseren og kun er innom plane speil og en samlelinse. Etter å ha undersøkt litt mente Magnus at det mest sannsynlig dreide seg om termiske effekter i Pyrocam III. Løsningen ble å plassere IR-fused silica i strålegangen, etter samlelinsen, LIR. IR-fused silica reflekterer noen få prosent av IR-laserens stråling. Ved å plassere en sylindrisk bit IR-fused silica slik at laserstrålen treffer den ene endeflaten med en liten vinkel relativt flatenormalen kan man "ta ut" noen få prosent av laserstrålens effekt og ta bilde av korrekt stråleprofil.

4.3.5 Opplinjering av HeNe-opplinjeringslaser

1. Monter ett filter med god demping på Pyrocam III. Dersom PC og programvare ikke allerede kjører startes PC og programvare som beskrevet i kapittel 4.3.4.
2. Finn en kombinasjon av dempefiltre og I_{diode} som er slik at både IR-laserens og opplinjeringslaserens stråle kommer tydelig fram på skjermen. Dette gjøres ved å etter tur la IR-laseren og opplinjeringslaseren treffe kameraet, og justere I_{diode} og/ eller filtersammensetningen. Pass hele tiden på at kameraet ikke går i metning.
3. Juster I_{diode} til verdien funnet i pkt. 2.
4. Blokker IR-laseren
5. Vipp S2 opp og plasser Pyrocam III så nær dette speilet som mulig. S2 må kunne vippes ned uten å flytte kameraet.
6. Fjern IR-laserens blokkering.
7. Bruk programvarens sirkelfunksjon til å lage en sirkel som omslutter spoten tett.
8. Blokker IR-laseren, f. eks. med en trekloss.
9. Vipp ned S2 og skru på opplinjeringslaseren.

10. Juster SHeNe1 til opplinjeringslaserens spot har samme senter som sirkelen. Skru av opplinjeringslaseren.
11. Vipp opp S2.
12. Plasser Pyrocam III i prøveposisjonen.
13. Fjern IR-laserens blokkering.
14. Bruk programvarens sirkelfunksjon til å lage en sirkel som omslutter spoten tett.
15. Blokker IR-laseren.
16. Vipp ned S2 og skru på opplinjeringslaseren.
17. Juster SHeNe2 til opplinjeringslaserens spot har samme senter som sirkelen. Skru av opplinjeringslaseren.
18. Repeter punktene 5 – 17 helt til de to laserspotene overlapper (uten at SHeNe1 må justeres) når Pyrocam III flyttes til S2.

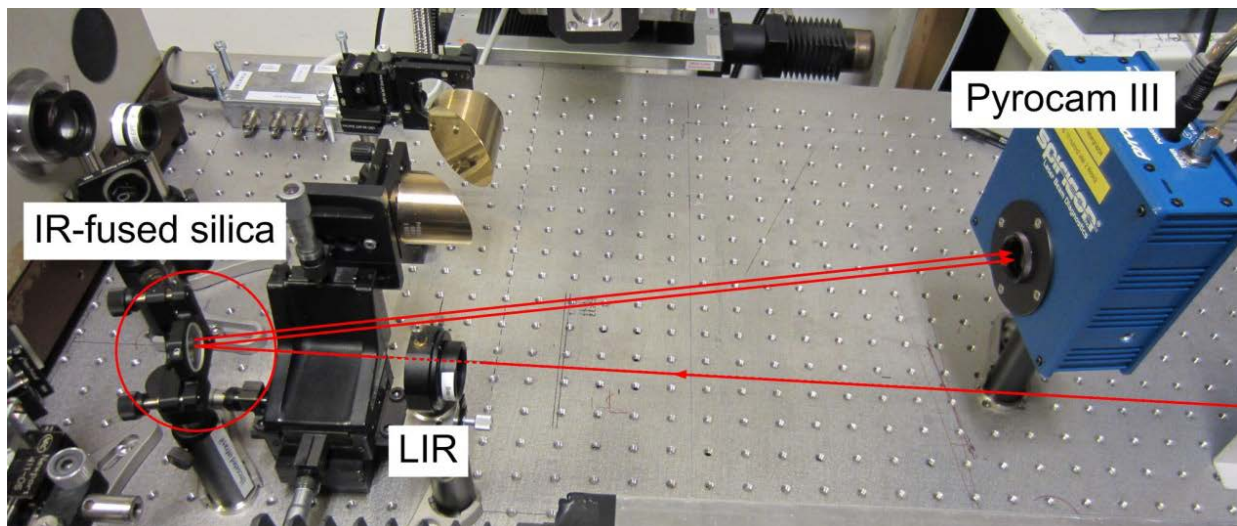
4.3.6 Bestemme I_{laser} for aktuelle lasereffekter

1. Nullstill effektmetret med funksjonen “zero”. Se evt. effektmeterets manual.
2. Plasser effektmetret i nærheten av prøveposisjonen og bestem I_{laser} for alle planlagte lasereffekter. I_{laser} justeres i steg på 20 mA og det vil som regel ikke være mulig å treffe nøyaktig på planlagt lasereffekt. Bruk nærmeste verdi for I_{laser} og lasereffekt.
3. Skru I_{laser} helt ned.
4. Fjern effektmetret.

4.3.7 Ta bilde av stråleprofil

1. Monter sylinderformet IR-fused silica ($\varnothing = 25$ mm) i holder med magnetisk fot, som vist i Figur 4.2.
2. Plasser holderen med IR-fused silica mellom LIR og S3 (se Figur 4.2).
3. Monter svart, sirkulært deksel på Pyrocam III, evt. på filteret.
4. Plasser en trekloss eller annen gjenstand som reflekterer laserlyset diffust bak G1 for å stoppe laserlys som ikke reflekteres av IR-fused silica.
5. Vipp ned S2 og skru på opplinjeringslaseren.
6. Juster holderen med IR-fused silica slik at laserstrålen kan propagere fritt mot området som er til høyre for G1 og G2 i Figur 4.2.
7. Bruk målebåndet til å finne avstanden $d_{\text{FS-PP}}$ mellom IR-fused silica og prøveposisjonen.

8. Plasser Pyrocam III slik at kameraets sensor står i avstand d_{FS-PP} fra IR-fused silica. Opplinjeringsslaserens treffpunkt skal være omtrent midt på sensoren (i senter av den sorte metallplaten) og metallplatens flatenormal skal være parallell med innkommende laserstråle.
9. Dersom PC og programvare ikke allerede kjøres startes PC og programvare som beskrevet i kapittel 4.3.4.
10. Trykk “start” i programvaren.
11. Fjern forsiktig det sorte dekkelet. Dersom en eller flere piksler går i metning må passende filter monteres på kameraet. To reflekser vil treffe Pyrocam III; én fra framsiden og én fra baksiden av IR-fused silica.
12. Juster om nødvendig kameraets posisjon slik at opplinjeringsslaserens mest intense spot treffer godt innenfor sensorarealet.
13. Skru av opplinjeringsslaseren og vipp opp S2.



Figur 4.2 Oppsett for å ta bilde av IR-laserens stråleprofil. På dette bildet er ikke speil for baksidebelysning (SB1 - SB4) montert. Det går fint å ta ut strålen på tilsvarende måte også med SB1 – SB4 montert.

14. Skru på IR-laseren.
15. Mål IR-laserens stråleprofil for alle planlagte I_{diode} iht. fremgangsmåten beskrevet i faktaboksen i kapittel 4.3.4. Pass hele tiden på at ingen piksler går i metning og juster antall dempefiltere etter behov. Som hovedregel bør strålen dempes slik at sensoren akkurat ikke går i metning for å få en mest mulig detaljert stråleprofil.

4.3.8 Baksidebelysning

1. Fjern evt. Pyrocam III og holderen med IR-fused silica.
2. Bruk målebåndet til å måle avstanden $d_{SB1-PP-F}$ mellom SB1 og prøveposisjonen, via S3 og S4.
3. Figur 4.3 viser en ring for montering av optiske elementer pålimt papir og montert i en holder med magnetisk fot. Påse at S2 og SB1 er vippet ned, skru på opplinjeringlaseren og plasser nevnte holder i nærheten av prøveposisjonen, slik at laserstrålen treffer prikken som er tegnet på papiret. Ikke flytt holderen.
4. Vipp opp SB1 og juster SB3 og/ eller SB4 til laserstrålen treffer prikken som er tegnet på papiret.
5. Mål avstanden $d_{SB1-PP-B}$ mellom SB1 og prøveposisjonen, via SB2, SB3 og SB4. Flytt evt. SB3 og SB4 like langt og i samme retning langs en akse som går parallelt med optikkbordets langside, slik at $d_{SB1-PP-F} = d_{SB1-PP-B}$.
6. Vipp ned SB1 og plasser holderen i Figur 4.3 så nær SB4 som mulig og slik at laserstrålen treffer prikken på papiret. Vipp opp SB1 og juster SB3 til laserstrålen treffer prikken på papiret.
7. Vipp ned SB1 og plasser holderen i Figur 4.3 så nær G1 som mulig og slik at laserstrålen treffer prikken på papiret. Vipp opp SB1 og juster SB4 til laserstrålen treffer prikken på papiret.



Figur 4.3 Holder som brukes ved justering av SB2 - SB4.

- Utfør punkt 6 og 7 ovenfor til det ikke er nødvendig å justere SB3 etter plassering av holderen ved SB4 (pkt. 6). Strålebanen ved baksidebelysning overlapper da med strålebanen for forsidebelysning hele veien mellom G1 og SB4.

5 Matlab

Programvare for å lese inn bildefiler fra kameraene Pulnix TM-6 og Pyrocam III ligger pr. oktober 2014 i mappen

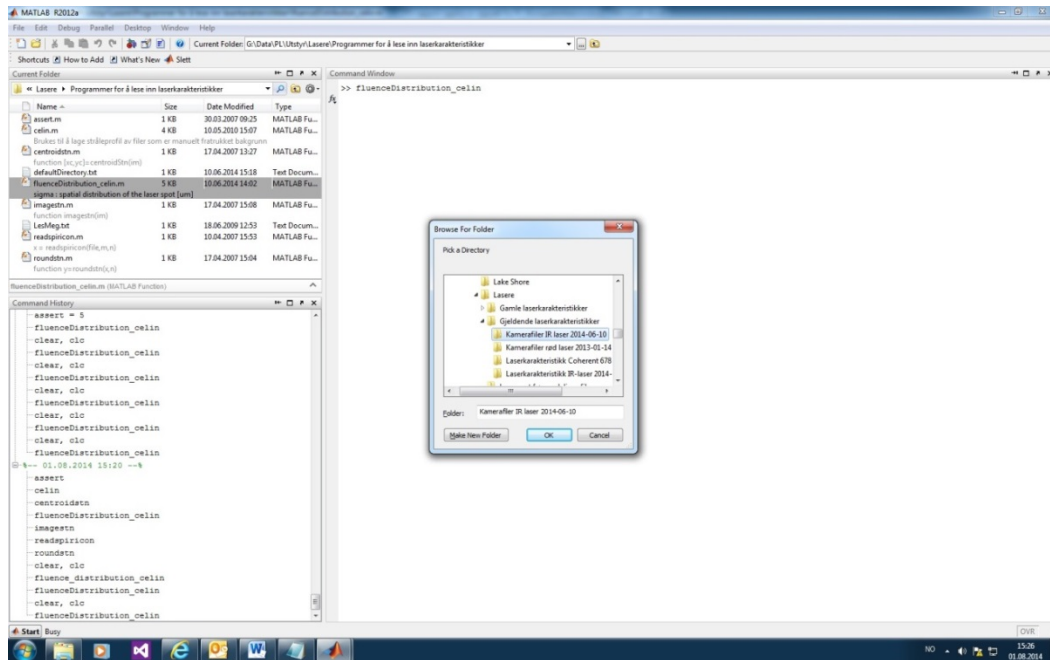
G:\Data\PL\Utstyr\Lasere\Programmer for å lese inn laserkarakteristikk.

Programvaren består av en samling Matlabfunksjoner som på bakgrunn av bildefiler og informasjon om pikselstørrelse og laserens totaleffekt produserer stråleprofil som vist i for eksempel Figur 3.2.

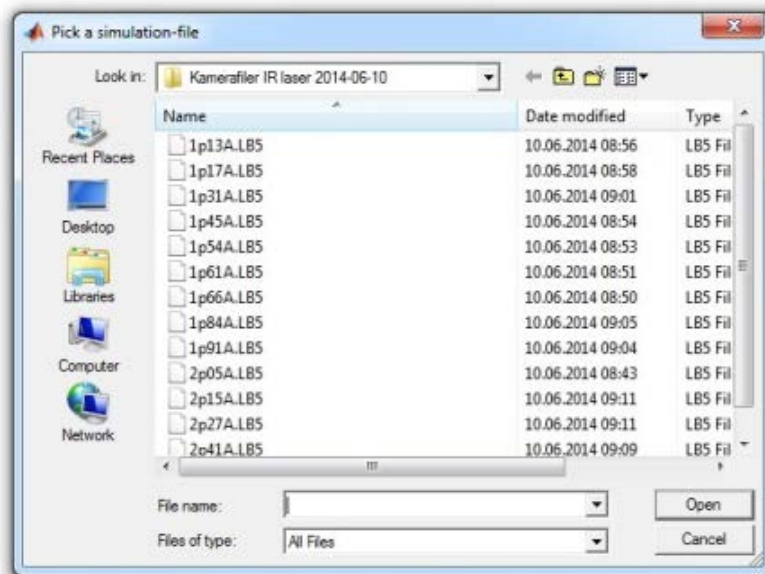
Det har vært problemer med å kjøre programvaren med de nyeste utgavene av Matlab, og det anbefales derfor å bruke Matlab 2010. Nedenfor følger fremgangsmåte for beregning av stråleprofil:

- Åpne Matlab 2010.
- Endre “current folder” til *G:\Data\PL\Utstyr\Lasere\Programmer for å lese inn laserkarakteristikk* eller evt. annen mappe dersom programfilene er flyttet.
- Skriv `fluenceDistribution_celin` i kommandovinduet og trykk på “enter”. Dialogboksen i Figur 5.1 åpnes. Velg mappen hvor kamerafilene er lagret og trykk “OK”.
- En dialogboks for valg av kamerafil som vist i Figur 5.2 åpnes. Velg ønsket fil og trykk “Open”.
- Figur med bilde av strålen åpnes (Figur 5.3). For IR-lasere vil bildet inneholde to stråleprofiler, reflektert fra henholdsvis forsiden og baksiden av IR-fused silica. Bruk stråleprofilen med flest detaljer. Merk firkantede områder med bakgrunn og stråle ved å holde venstre museknapp inne, dra musepekeren over aktuelt område og dobbeltklikke inni firkanten. Teksten over bildet forteller i hvilken rekkefølge bakgrunn og stråle skal merkes.
- Fyll inn pikselstørrelse og målt totaleffekt for aktuell stråleprofil i dialogboksen i Figur 5.4 og trykk “OK”. Pikselstørrelse for Pulnix TM-6 og Pyrocam III er henholdsvis 8,3 μm og 100 μm .

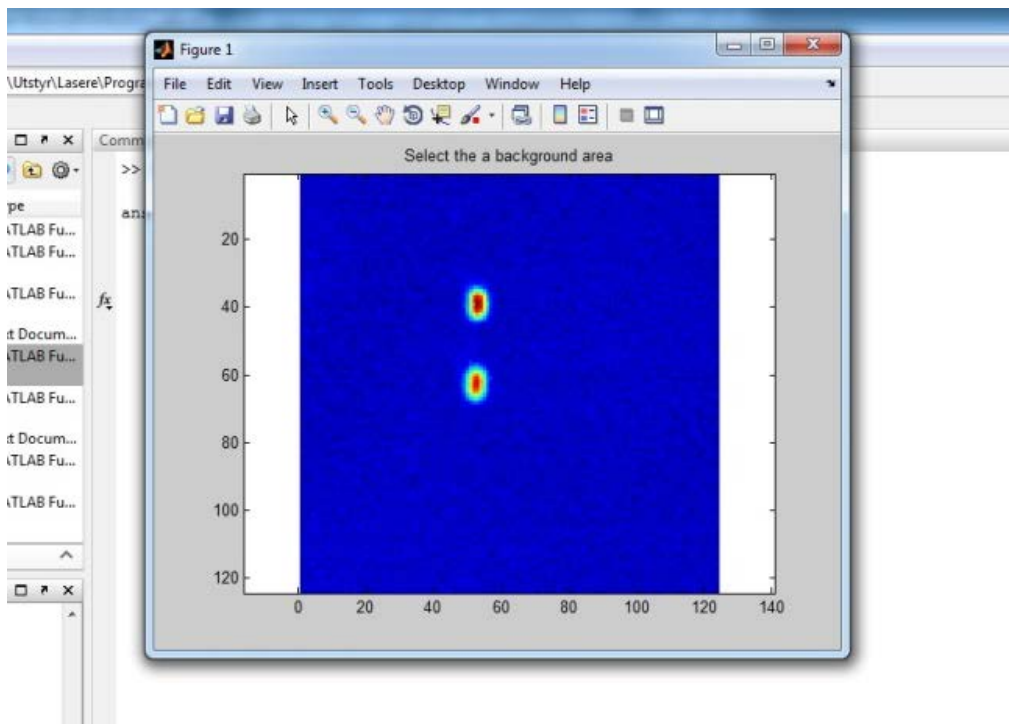
- Figur med stråleprofil tilsvarende Figur 3.2 åpnes. Lagre figuren i ønsket/ ønskede format(er). Standard prosedyre hittil har vært å lagre i Matlabs figurformat (.fig) samt jpg.



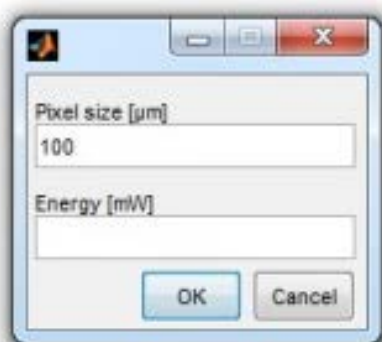
Figur 5.1 Dialogboks for angivelse av mappe med kamerafil.



Figur 5.2 Dialogboks for valg av kamerafil.



Figur 5.3 Bilde av laserstrålen. Brukes til å angi bakgrunn og stråle.



Figur 5.4 Dialogboks for angivelse av kameraets pikselstørrelse og laserstrålens totalenergi.

Referanser

- [1] Gunnar Rustad (1998), *Diodelaser endepumpet Tm:YAG laser*, FFI/rapport-98/02171