

Förbättringskänslighet hos Senseairs alkoholanalyser

Publik rapport



Författare: Sergiy Valyukh
Datum: 2021-12-28
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon - FFI

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English	3
3 Bakgrund	3
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	7
6 Resultat och måluppfyllelse	7
1) Laserinterferometri.	9
5) LC modulator.	16
7 Spridning och publicering.....	17
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	17
7.2 Publikationer	17
8 Slutsatser och fortsatt forskning	17
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	17

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Förstudien har ägnats åt att utforska hur det är möjligt att öka känsligheten hos de alkoholanalyserare som tillverkas av Senseair AB för att förverkliga drift i "sniffer-läge". Dessa är icke-dispersiva infraröda (NDIR) analyserare som verkar inom mitten av det infraröda spektret. Till skillnad från det synliga optiska området är utvecklingen och förbättringen av optiska enheter i Mid-IR förknippad med många svårigheter: förutom att vara osynliga för det mänskliga ögat och påverkas av termisk strålning från alla element i systemet, är antalet optiska komponenter och material för Mid-IR mycket begränsade, de är kostsamma och är inte så väl studerade som för det synliga spektralområde. Två riktningar utforskades i förstudien: 1) klargöra hur man kan förbättra reflektansen hos aluminiumspegelarna som används för flera reflektioner, för att uppnå en lång optisk väg i en miniatyrenhet och 2) hur man designar och implementerar en vätska kristallmodulator vars frekvens är mycket högre än den för ljussändarmodulering som för närvarande används av Senseair. Spegelarna studerades med ellipsometrisk metod för att bestämma ytans optiska konstanter och topologi. Vi undersökte vilken typ av transparenta material kan användas för att öka speglarnas reflektivitet. Vi klargjorde också vilka av driftsätten för flytande kristaller som måste användas för Mid-IR-modulator, vilka material som kan användas samt var och hur dessa modulatorer kan tillverkas.

2 Executive summary in English

The pre-study has been devoted to exploring how it is possible to increase sensitivity of the alcohol analyzers manufactured by Senseair AB in order to realize operation in "sniffer mode". These are non-dispersive infrared (NDIR) analyzers operating in the mid-infrared (Mid-IR) range. In contrast to the visible optical range, the development and improvement of optical devices in Mid-IR is associated with many difficulties: in addition to being invisible to the human eye and affected by thermal radiation from all elements in the system, the number of optical components and materials for Mid-IR is very limited, they are costly and are not so well studied as for the visible range. Two directions were explored in the pre-study: 1) clearing up how to improve the reflectance of the aluminum mirrors used for multiple reflections, in order to achieve a long optical path in a miniature device and 2) how to design and implement a liquid crystal modulator whose frequency is much higher than that of light emitter modulation currently used by Senseair. The mirrors were studied with ellipsometric methods to determine the optical constants and topology of the surface. We investigated what sort of transparent materials can be applied, to increase reflectivity of the mirrors.

3 Bakgrund

Alkoholtestning i större skala räddar liv. Alkoholintag påverkar människokroppen genom betydligt längre responstid på yttre stimuli. I krävande situationer där man måste vara alert kan en förlängd reaktionstid vara skillnaden mellan liv och död, både för den berusade personen och för omgivande individer [1]. I många situationer där screening av utandningsalkohol är lämplig finns det ett behov av snabb och enkel användning. Verktöget ska störa de vanliga rutiner och procedurer så lite som möjligt. En sådan uppgift är körning. För att tillgodose dessa behov i en applikation i fordon, måste alkoholavkänningssystem vara sömlöst installerade i fordonet och inte störa det normala beteendet hos en nykter förare.

De nuvarande toppmoderna utandningsalkoholanalyserarna kräver leverans av ett forcerat utandning ofta med ett munstycke. I vardagsbruk där tid och ansträngning behöver minimeras, t.ex. fordon och applikationer med hög throughput, är munstycket en begränsande faktor [1]. Senseair kan idag leverera alkoholsensorer utan munstycke, men ett aktivt deltagande av föraren som tillhandahåller ett utandningsprov krävs fortfarande.

Det finns flera tekniker tillgängliga för att på ett enkelt sätt bestämma nivån av alkoholförgiftning i människokroppen [1-8]. De flesta system är baserade på en av tre teknologier - bränslecellssensorer, halvedarsensorer eller infraröd spektrometri. Majoriteten av dem använder ett munstycke för att rikta andningen utspädd till sensorns kärna.

Sensorer baserade på infrarödteknik (non-dispersive infrared, NDIR) är särskilt attraktiva på grund av hög noggrannhet och precision samt hög selektivitet [5, 6]. Det är icke-spridande i det faktum att inget dispersivt element (t.ex. ett prisma eller diffraktionsgitter som ofta förekommer i andra spektrometrar) används för att separera ut (som en monokromator) bredbandsljuset till ett smalt spektrum som är lämpligt för gasavkänning. Majoriteten av NDIR-sensorer använder en bredbandslampkälla och ett optiskt filter för att välja ett smalbandigt spektralområde som överlappar absorptionsområdet för gasen av intresse. I detta sammanhang kan smälta vara 50-300nm bandbredd. Moderna NDIR-sensorer kan använda mikroelektromekaniska system (MEMS) eller mid-IR LED-källor, med eller utan ett optiskt filter. Jämfört med elektrokemiska sensorer är livslängden för NDIR-sensorn lång. Detta beror mest på att dessa sensorer inte har någon sensorutbränning eller sensorförsämring vid exponering för gaser. Dessutom är störningen från andra gaser i mätningarna näst intill noll för NDIR-sensorer [6]. När det gäller halvedarsensorer presterar de bäst i högre koncentrationer (2 000 – 10 000 ppm) och är känsliga för luftfuktighet och temperaturfluktuationer. Halvedarsensorerna kan försämrats eftersom icke-målgaser kan absorberas av oxidytan. För de gaser där NDIR-sensorer kan mäta koncentrationen har sensorerna inga av dessa problem och fungerar bra för alla koncentrationer av målgasen. Sammantaget är de stora fördelarna med NDIR-sensorer låga livscykelkostnader och en exakt och stabil långtidsdrift. [6] Dessutom krävs inte periodisk kalibrering för NDIR-sensorer, till skillnad från andra föreslagna system [7-8]

I IR-spektroskopi roterar och vibrerar varje specifik molekyl i ett unikt mönster och absorberar därför IR-ljus av olika våglängder med varierande intensitet. I instrumentet passerar ljuset som sänds ut från en emitter med svart kropp genom en optisk cell med en fixerad optisk väg. Som de specifika ämnena, t.ex. etanol, som fyller cellen, reduceras det genomsläppta ljuset och indikerar därför molekylär absorption. Förhållandet mellan den genomsläppta ljusintensiteten, I , och det genomsläppta ljuset vid noll gaskoncentration, I_0 , kallas transmittans, T , och beräknas som

$$T = \frac{I}{I_0}. \quad (1)$$

Beers-Lamberts lag kan skrivas om som en absorptionsfunktion i enlighet därmed:

$$A = \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = \epsilon c l, \quad (2)$$

där ϵ är den molära dämpningskoefficienten, c är gaskoncentrationen (etanol) och l är den optiska vägen. Från (2) följer det att låga koncentrationer behöver lång optisk väg för att få hög absorptions [5].

Fig. 1 visar transmittans av etanol.

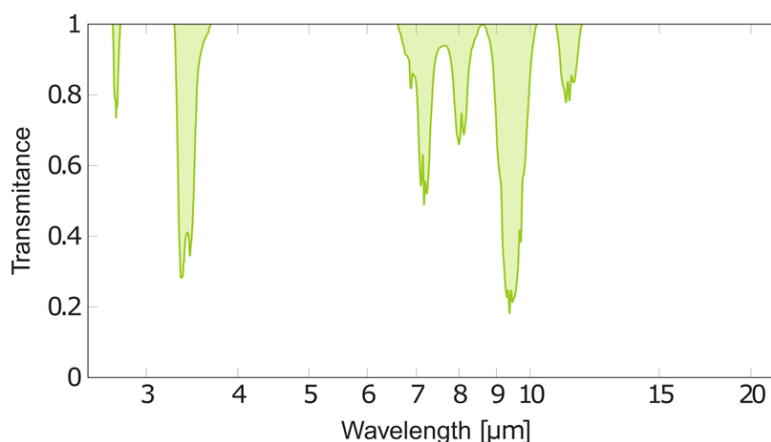


Fig. 1. Transmittans av etanol [6]

Huvudapplikationen för instrument baserade på IR-spektroskopi har traditionellt varit för bevisändamål. Tekniken har i sig goda egenskaper inklusive hög noggrannhet, precision,

specificitet, tillförlitlighet och kalibreringsstabilitet. Eftersom systemets känslighet är proportionell mot längden av mätcellens optiska väg finns det problem relaterade till miniatyrisering. Om bestämning av låga koncentrationer av en viss gas med en anordning som inkluderar ett rör mätt i meter vanligtvis inte är ett problem för en laboratorium, gruva eller utomhusmiljö, men de stora dimensionerna av ett testinstrument är inte acceptabla för transportsektorn. Därför är en av de viktigaste praktiska uppgifterna att minska storleken på alkoholanalytatorer med bibehållen hög känslighet. Dessutom, med ökad känslighet kan alkosensorerna arbeta i "sniffningsläge" som inte kräver aktivt deltagande från föraren.

Cirka 25 % av alla trafikdöd i Europa är alkoholrelaterade och ungefär 1 % av alla körda kilometer i Europa körs av förare med 0,5 g/l alkohol i blodet eller mer. När alkoholkoncentrationen i blodet (BAC) i föraren ökar, ökar också krockfrekvensen. Ökningen av kraschfrekvensen som följer med ökande BAC är progressiv [9].

Risken att råka ut för en olycka ökar exponentiellt med graden av berusning [10]

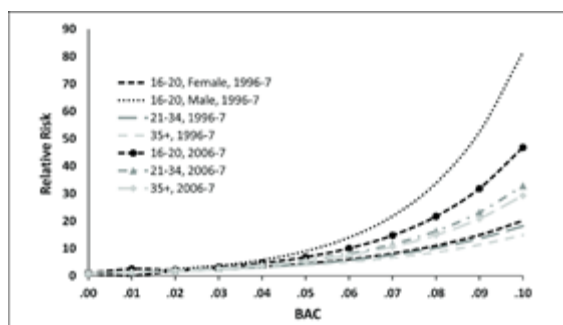


Fig.2 Relativ riskkurva – dödsolyckor i enstaka fordon vs BAC [10]

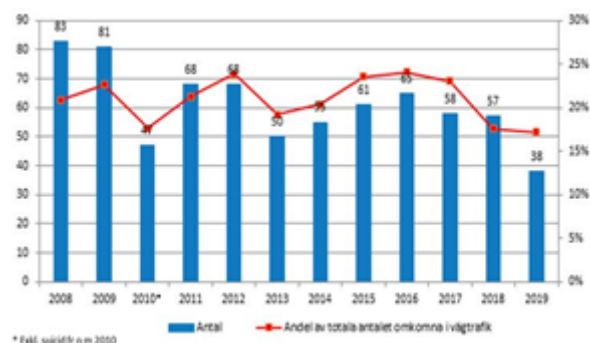


Fig.3 Alkoholrelaterade trafikolyckor i Sverige [11]

Enligt Trafikverkets rapport av de totalt 221 omkomna under 2019 har 17 procent omkommit i en alkoholrelaterad olycka. I absoluta tal innebär det 38 personer (31 alkohol + 7 både alkohol och droger) [11]. Antalet och andelen dödade i alkoholrelaterade (alkohol > 0,2 promille) trafikolyckor i Sverige mellan 2008 och 2019 visas i figur 3 [11].

Alkohol försämrar ens körförmåga på alla möjliga nivåer. Problemet med rattfylleri är inte nytt och väldigt många åtgärder har vidtagits. En mycket framgångsrik åtgärd var polisens införande av utandningstestutrustning i fickstorlek redan på 1970-talet. Trots att rattfulla förare nu vet att de kan åka fast och att sanktionerna är hårda, och trots att opinionen om rattfylleri har förändrats avsevärt (de flesta i Europa ogillar nuförtiden helhjärtat rattfylleri) är alkoholskadade trafikanter fortfarande inblandade i ungefär en fjärdedel av alla dödsolyckor i Europa. Nya och bättre åtgärder behövs [9].

- Att ha slumpmässiga utandningsprov för alla förare och inte bara för "misstänkta" förare
- Att ha alkoholåls installerade i bilar av grova förstagångsförbrytare och alla återfallsförbrytare i kombination med en förarförbättringskurs

Senseair tillverkar redan enheter som uppfyller dessa krav [6]. Men vissa egenskaper, såsom känslighet och förmågan att analysera högutspädda utandningsprover med en utspädningsfaktor på upp till 200 gånger, bör dock förbättras. Huvudmålet med denna förstudie var att ge insikt i hur man kan förbättra ovan nämnda egenskaper, i vilken riktning det är nödvändigt att röra sig.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

För att minska storleken på etanolsensorn och göra den lämplig för användning inom transportsektorn, inkluderar Senseair till den optiska delen en resonator, bestående av ett par aluminiumbelagda plastspeglar (Fig. 4).

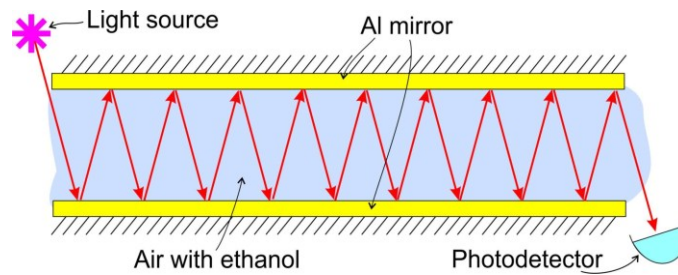


Fig. 4 Schematisk bild av den optiska delen av etanolsensorn

På grund av multireflekktionerna mellan speglarna ökar den längden av den optiska vägen. Senseair-implementationen är en så kallad White-cell där ljuset leds mellan två böjda speglar ett väl definierat antal passager. Om till exempel speglarna är åtskilda av avståndet A och ljuset leds N passager mellan speglarna, blir den optiska vägen:

$$l = N \cdot A. \quad (3)$$

Det är uppenbart, att l går mot oändligheten när $N \rightarrow \infty$. Med andra ord kan dimensionerna på sensorn vara ganska små men den optiska vägen lång och som ett resultat kan känsligheten nå de önskade värdena. Men problemet är att det är svårt att uppnå $N \rightarrow \infty$ i praktiken på grund av förlusterna i speglarna, dvs. speglarnas reflektans är mindre 1. Ljusintensiteten, I_a , efter N reflektioner i det optiska arrangemanget som visas i Fig. 4 vid noll gaskoncentration är lika med

$$I_a = R^N I_o, \quad (4)$$

där R är reflektans och I_o är intensiteten av det infallande ljuset. När R inte är tillräckligt nära 1, tenderar I_a snabbt till noll med ökande N . Därför är det kritiskt att R är så nära 1 som möjligt.

Ett av målen i denna förstudie är att undersöka hur man kan öka R . Ytan på Al-spegeln är grov. Det är välkänt att den optiska effekten av grovheten är likvärdig med ett lager av effektivt medium (i mer komplicerade fall finns det flera lager av olika media) [12] (Fig. 5).

Genom att använda spektroskopisk variabel vinkel ellipsometri [13] är det möjligt att mäta ytans grovhet, bestämma de optiska konstanterna, klargöra om det finns andra material eller inhomogenitet nära ytan, t.ex. Al_2O_3 , och hitta parametrar för det mest effektiva mediet (eller mediet).

Skiktet (eller skikten) av det effektiva mediet (media) påverkar ljusreflektansen [13]. Genom att variera tjockleken är det möjligt att öka såväl som att minska reflektansen. Efter applicering av datorsimuleringar är det möjligt att bestämma vad som måste göras: minska eller öka grovheten, ta bort eller tillsätta Al_2O_3 , öka eller minska homogeniteten på ytan.

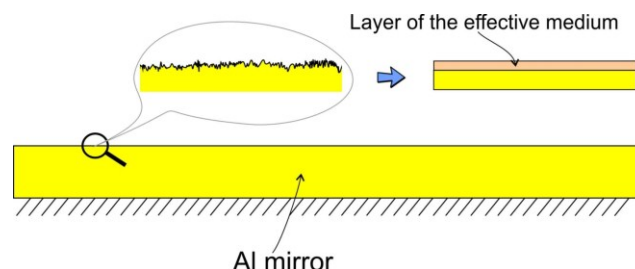


Fig. 5. Ytjämnheten kan betraktas som ett lager av ett effektivt medium som påverkar reflektationsförmågan

Nästa steg inkluderar undersökning av dielektriska skikt som kan täckas på Al, för att öka reflektansen (Fig. 6).

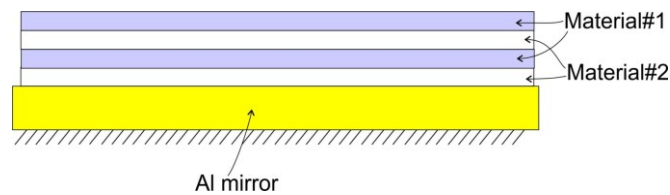


Fig. 6. Flerskiktad dielektrisk struktur kan beläggas på Al-spegeln

Det var nödvändigt att ta reda på vilka typer av material som är transparenta i de nödvändiga spektralområdena (9000-10000nm, 3000-4000nm och 4000-4500nm) och hur de kan beläggas på aluminium.

För att förbättra signal/brusförhållandet (signal to noise ratio, SNR) använder Senseair en läsbar förstärkare och modulerar effekten till ljuskällan vilket resulterar i ganska långsam modulering. Frekvensen för signalmoduleringen är begränsad till 5Hz. Att öka signalfrekvensen gör det möjligt för oss att bättre dämpa brusklor och därmed förbättra det effektiva SNR. Frekvensen för flytande kristaller (LC) modulatorer kan vara 1kHz och högre.

I den här förstudien kommer vi att undersöka hur man skapar en LC-modulator för Senseair-sensorena, som, till skillnad från de allra flesta optiska enheter, fungerar i Mid-IR-området.

En struktur av en LC-cell visas i Fig.7. Skiktet av LC är inklämt mellan inriktningsskikten, transparenta elektroder och substrat.

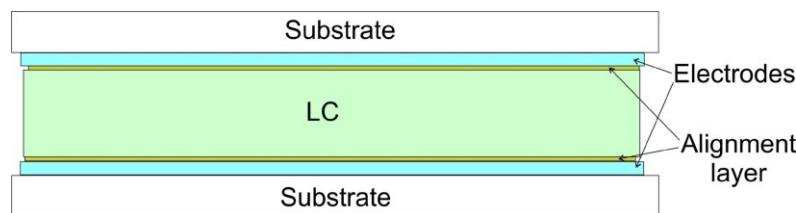


Fig. 7. Strukturen hos en flytande kristallcell.

Målet med detta steg i projektet är att ta reda på transparenta material för Mid-IR som kan användas i LC-modulatorn. Vi kommer att definiera typ av LC-läge. Speciellt måste den vara fri från polarisatorer. Det kan vara kolesterisk LC [14], gästvärd (guest-host) [15], eller någon sorts strålstyrningsanordningar [14, 16].

5 Mål

Målen med förstudien var

- 1) undersöka vad som påverkar reflektionsförmågan hos aluminiumspegel som används i alkomätare tillverkade av Senseair AB och ta reda på hur man kan förbättra reflektionsförmågan hos dessa speglar och därigenom öka längden på den optiska vägen i alkomätare, vilket kommer att leda till en ökning av deras känslighet och signal-brusförhållande,
- 2) undersöka hur man kan utveckla flytande kristallmodulatorer för Mid-IR.

6 Resultat och måluppfyllelse

Det uppskattade beroendet av gascensorenas SNR på reflektionsförmågan hos de använda speglarna (fig. 4) visas i fig. 8.

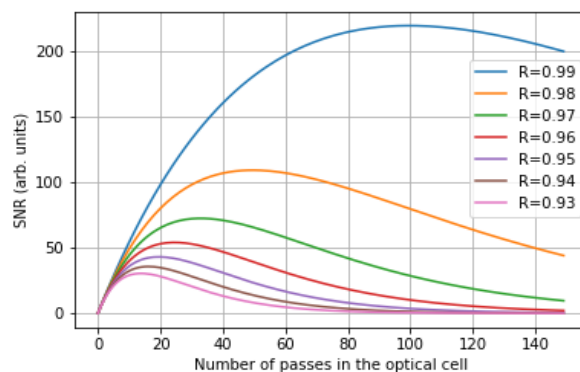


Fig. 8. Signal-brusförhållandet för gascensornerna kontra antalet passager vid olika värden på speglarnas reflektionsförmåga.

Som jämförelse visas reflektionsförmågan hos en platt Al-spegel i fig. 9.

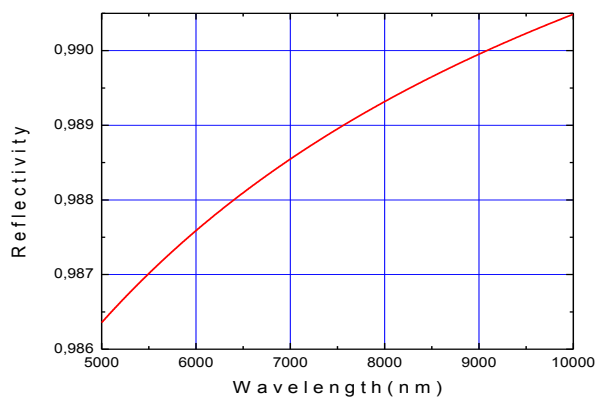


Fig. 9. Beräknad reflektivitet för en Al-spegel.

Enligt en använd beräkning överstiger de optiska konstanterna för aluminium (Palik, Handbook of optical constants of solids) reflektansen för en Al-spegel 98,8 % för våglängder över 6,5 μm (Fig. 6).

Experimentella resultat för reflektionsförmåga hos en blank aluminiumbeläggning visas i tabell 1:

Table 1. Reflectivity of a bare aluminum coating

Våglängd (μm)	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Reflektivitet (%)	98,5	98,6	98,7	98,7	98,7

Reflexionsförmågan hos en skyddad Al-beläggning mellan 6 μm och 10 μm är cirka 98 % (<https://www.edmundoptics.de/knowledge-center/application-notes/optics/off-axis-parabolic-mirror-selection-guide>).

Enligt data som presenteras ovan måste reflektionsförmågan hos Al-speglarna som används av Senseair vara nära 98 %.

På grund av specifikationerna för det optiska arrangemanget av Senseair-testarna har proverna en krökt form, vilket gör att det är svårt att justera dem exakt vid den infraröda ellipsometern, vars mätningar ursprungligen planerades. Som en konsekvens beslutades det att undersöka speglarnas formprofil genom att använda laserinterferometri. Det beslutades också att montera

ett optiskt arrangemang med hänsyn till spegelytornas krökning och att mäta speglarna på en ellipsometer som arbetar vid 200-1800nm.

1) *Laserinterferometri.*

Alla försök att få interferens genom att använda Senseair-speglarna misslyckades. Den främsta orsaken till detta är en tillräckligt stor ytsträvhet, vilket i sin tur orsakar spridning. Det kan hävdas att spridningen är huvudkällan till de optiska förlusterna. Detta påstående kan bekräftas genom en jämförelse av profilerna (fläckfördelningar) för laserstrålen som reflekteras från den undersökta spegeln (fig. 10a) och från en slät yta av konkava laserreflektorer (fig. 10b).

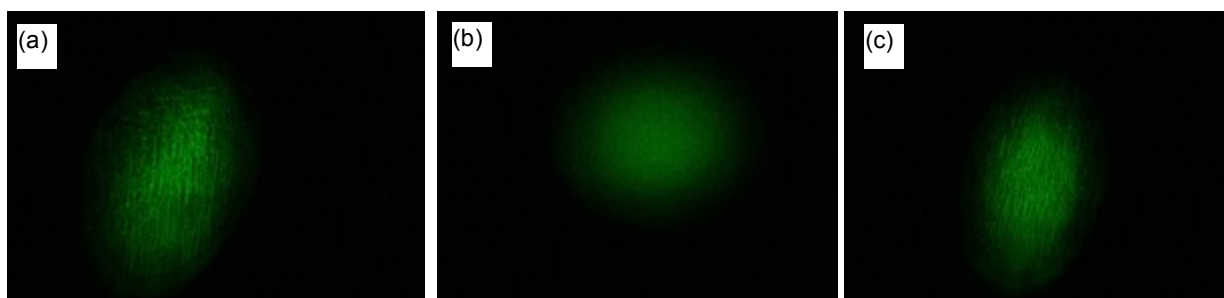


Fig.10. Profiler (fläckfördelningar) av laserstrålen som reflekteras från (a) Senseair-spegel, (b) laserkonkav spegel och (c) substrat för Senseair-spegel.

Profilen från laserspegeln (Fig. 10b) har en klassisk Gaussisk intensitetsfördelning med likformigt fyllda fläckar, medan strålen som reflekteras från Senseair-speglarna har egenskaper av ett kvasi-ordnat mönster som vanligtvis korrelerar med yttopografin.

Det är intressant att notera att profilen för laserstrålen som reflekteras från ett spegelsubstrat (Fig. 10c) ser identiskt ut (i termer av normaliserad intensitet) som profilen från spegeln (Fig. 10a). Detta kan i sin tur indikera att spegelytans topografi upprepar substratets topografi.

Topografi av Senseair-speglarna undersöktes också i ett Olympus-mikroskop (Fig. 11). Vid normaliserade intensiteter ser reflektioner från speglarna och substraten likadana ut. Som sett är yttopografin inte slät vilket förklarar fördelningarna i Fig. 10a och Fig. 10c.

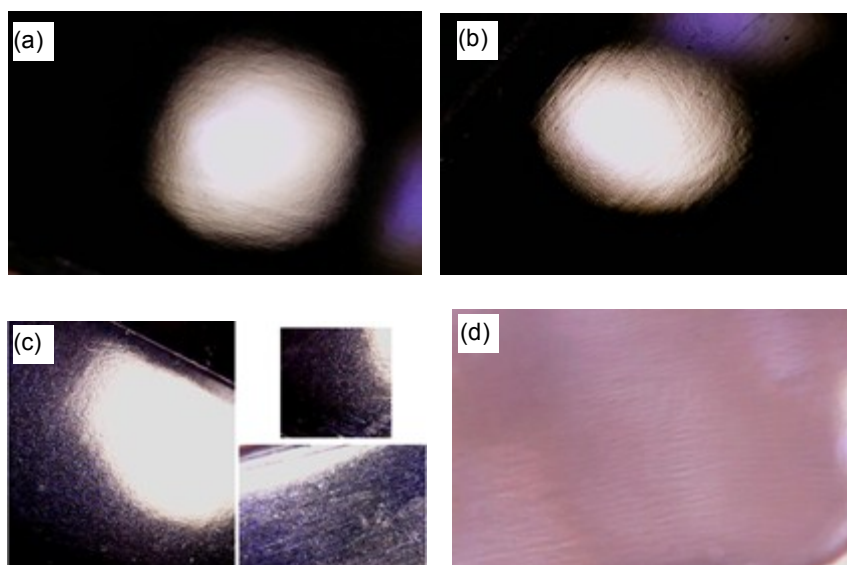


Fig.11. Foton av fragment av Senseair-spegel i ett mikroskop. (a),(b),(c) mikroskopets fokus är på spegelytan, (d) fokus är något förskjutet från ytan.

2) Ellipsometrisk studie.

För att mäta de konkava speglarna har mottagaren och ljuskällan till den spektroskopiska ellipsometern RC2 med variabel vinkel från JA Woollam Inc. utrustats med ett par objektivinser som fokuserar ljusstrålen på en spegelyta. Storleken på ljuspunkten är $200\mu\text{m}$. De studerade grova ytorna (Fig.11) kan betraktas som en uppsättning mikrolinser där varje mikrolins har sin egen orientering. I konfigurationen med linserna detekterar ellipsometern endast ljuset som reflekteras från mikrolinser, varvid normalen sammanfaller med normalen för ellipsometersteget.

Mätningarna utfördes i vinklar 25-70 grader med steg 5 grader. Efter mätningarna har data försetts med den optiska responsen från följande modell: ett lager av Al – ett lager av Al_2O_3 – ett skyddat lager (SiO och SiO_2 har beaktats) och grovhet hos mikrolinserna.

De erhållna resultaten visas i fig. 12. Sökandet efter de mest lämpliga lösningarna fortsätter, eftersom det ännu inte har varit möjligt att få en tillfredsställande överensstämmelse mellan experimentella och teoretiska data. Förmodligen beror det på att det skyddade skiktet är ett annat material än SiO eller SiO_2 , t.ex. BaF_2 .

Från de erhållna resultaten är det emellertid möjligt att konstatera att tjockleken på skyddsskiktet, Al_2O_3 och ytråheten hos mikrospeglarna inte överstiger flera tiotals mikrometer. Resultaten påverkar inte spegelns reflektion för mycket. Som nämnts ovan är den huvudsakliga källan till de optiska förlusterna ytjämnheten (fig. 8) som orsakar spridning, d.v.s. den grovhet som kan presenteras som en uppsättning av mikrospeglarna. Mikrospeglarnas egenskaper (eller grovheten) mäts i mikron och tiotals mikron.

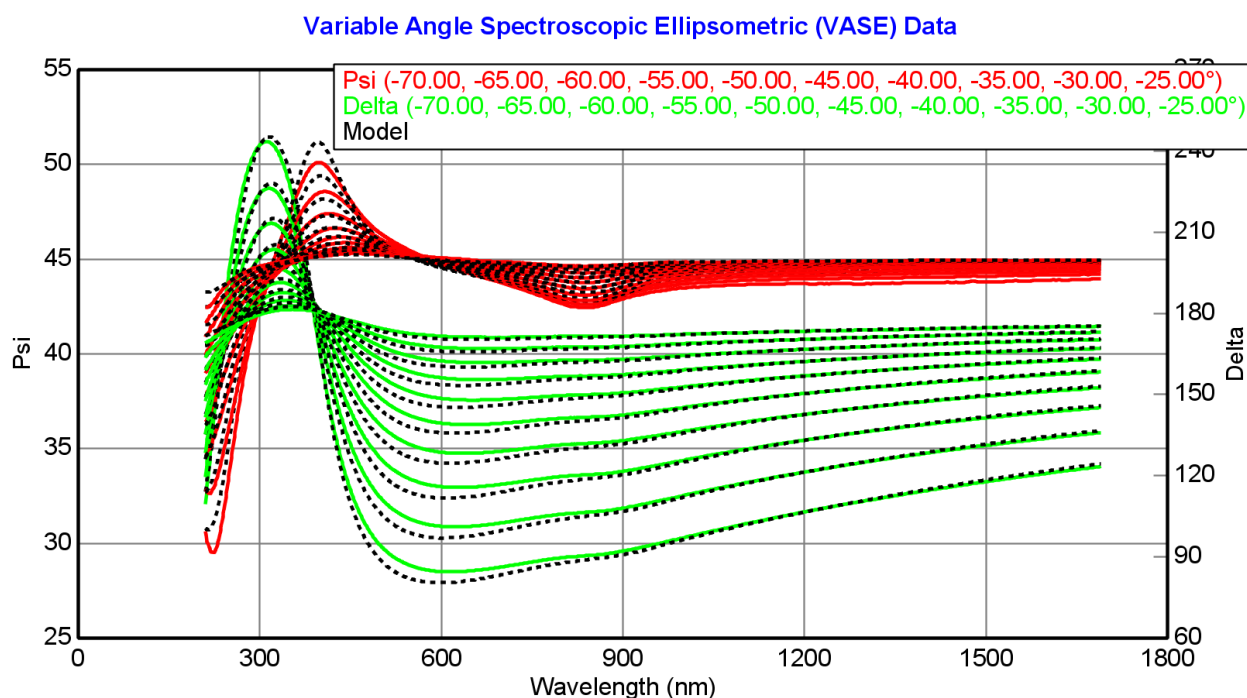


Fig.12. Experimentella och simulerade resultat för mikrolinserna orienterade i samma vinkel som ellipsometersteget.

3) Datorsimuleringar

En Al-spegelreflektans vid en våglängd på $9.54\mu\text{m}^1$ kontra ytjämnheten har beräknats (fig. 13).

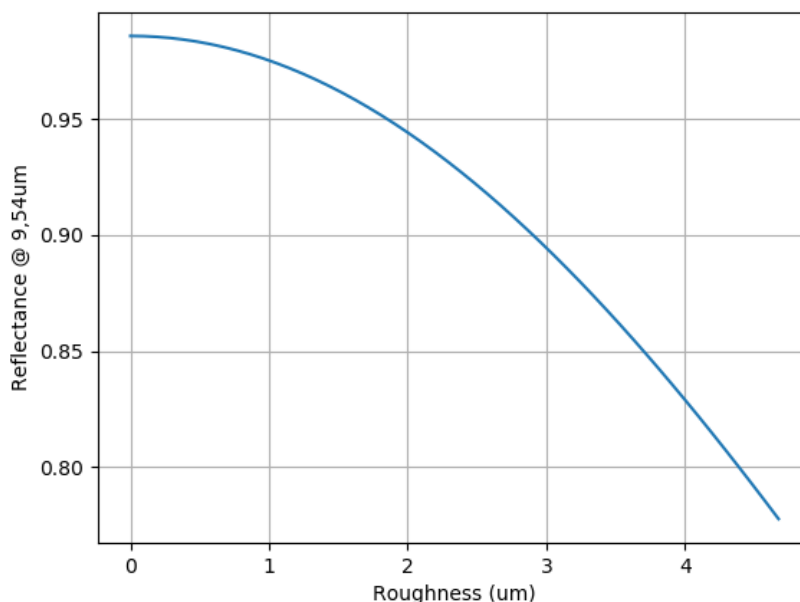


Fig. 13 Al-spegelns reflektans vid $9,54\ \mu\text{m}$ mot ytjämnheten.

Två funktioner bör noteras. 1) Spegelreflektansen beror inte bara på de karakteristiska storlekarna på inhomogeniteterna, dvs på värdet av råheten utan också på en specificitet hos råheten eller på de spektrala komponenter (rymdfrekvenser) som utgör grovheten. Vid modellering av grovhet (en adekvat råhetsmodellering är ett problem i sig och det är inte enklare än spridningsberäkningen) vägledades vi av att storleken på inhomogeniteterna motsvarar normalfördelningen. De lågfrekventa komponenterna togs bort från slutresultatet.

2) Det antogs att det inte finns några inbördes reflektioner mellan ytinhomogeniteterna. Diffus spridning och, som ett resultat, en minskning av spegelreflektionen uppstår på grund av förvrängningen av ljusvågens vågfront efter interaktion med ytan. Beräkningarna utfördes med användning av Fresnel-Kirchhoff-integralen i analogi med beräkningar av fasdiffraktionsgitter.

Figur 14 visar reflektansens beroende av Al-spegelns våglängd för en perfekt slät yta och olika grovhetsvärden ($1\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $4\mu\text{m}$).

¹ $9.54\ \mu\text{m}$ valdes som våglängden för den maximala absorbansen av etanol enligt E. Sania, A. Dell'Oro *Optical Materials* vol. 60 (2016) pages 137-141.

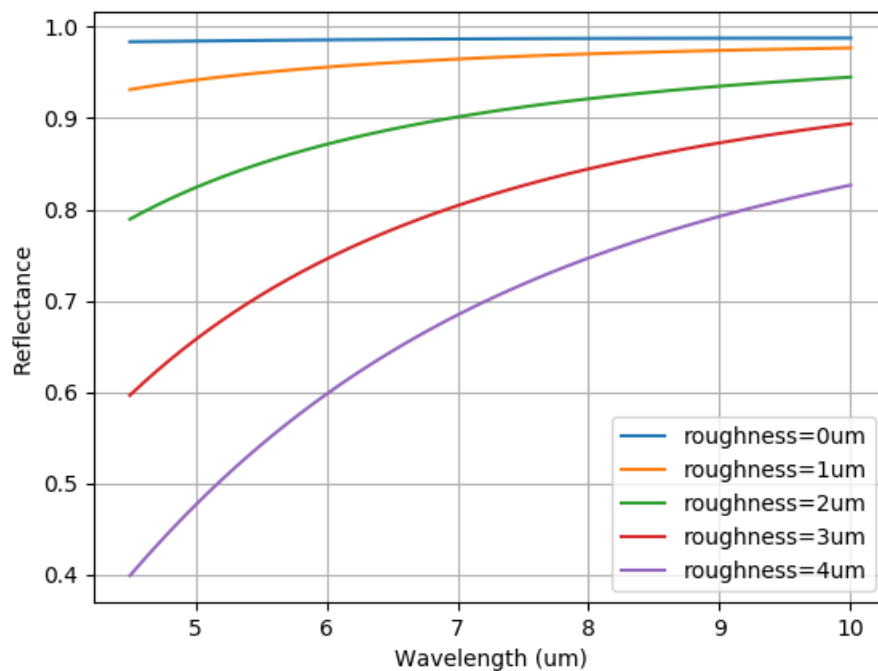


Fig. 14. Al-spegelns reflektans kontra våglängden för olika ytjämnheter.

Figur 15 visar reflektansens beroende av våglängden. Enligt de presenterade resultaten ökar reflektansen från den grova spegeln med ökande infallsvinkel. Den når max någonstans runt 60-70 grader (beroende på grovheten) och sedan blir det en kraftig nedgång.

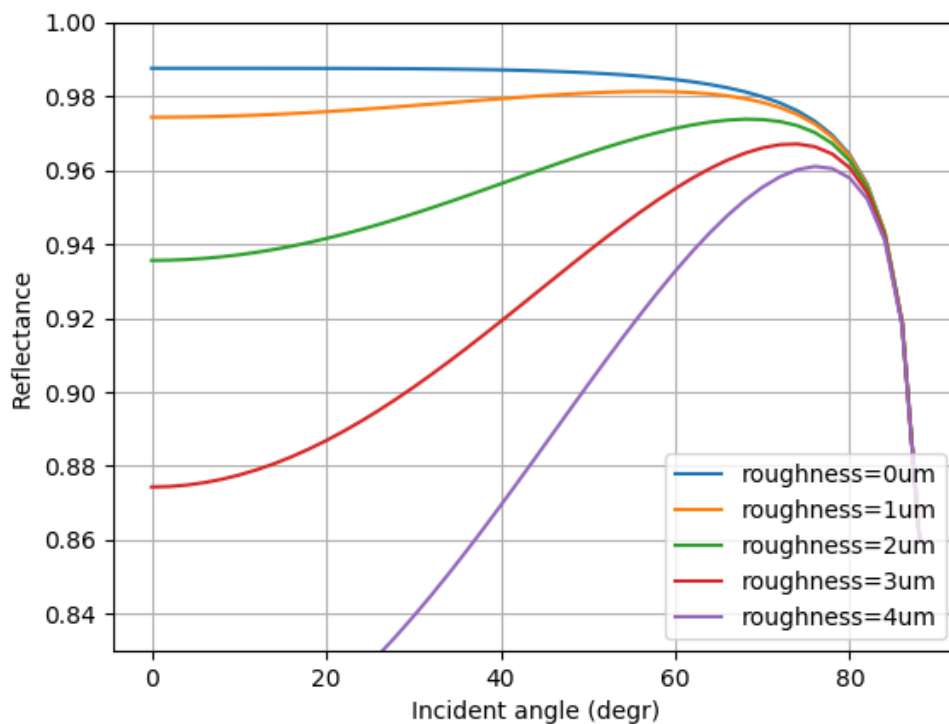


Fig. 15. Al-spegelns reflektans vid 9,54 μm kontra infallsvinkeln för olika ytjämnheter.

Eftersom många flytande kristaller (LC)-modulatorer fungerar i polariserat ljus och det finns lösningar som gör att man kan polarisera upp 100 % av naturligt ljus med försumbar energiförlust, skulle det förmodligen vara lämpligt att demonstrera reflektanser för polariserat ljus (Figur 16 och 17). Vid stora vinklar tenderar reflektansen för s-komponenten till 100 %.

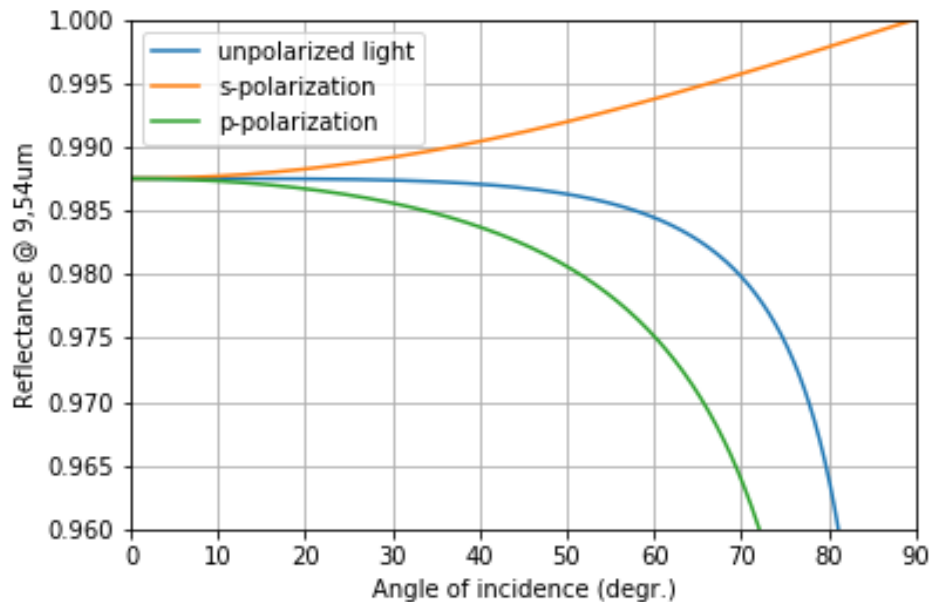


Fig. 16. Al-spegelns reflektans vid 9,54 μm kontra infallsvinkeln för det opolariserade ljuset och S&P-polarisationer.

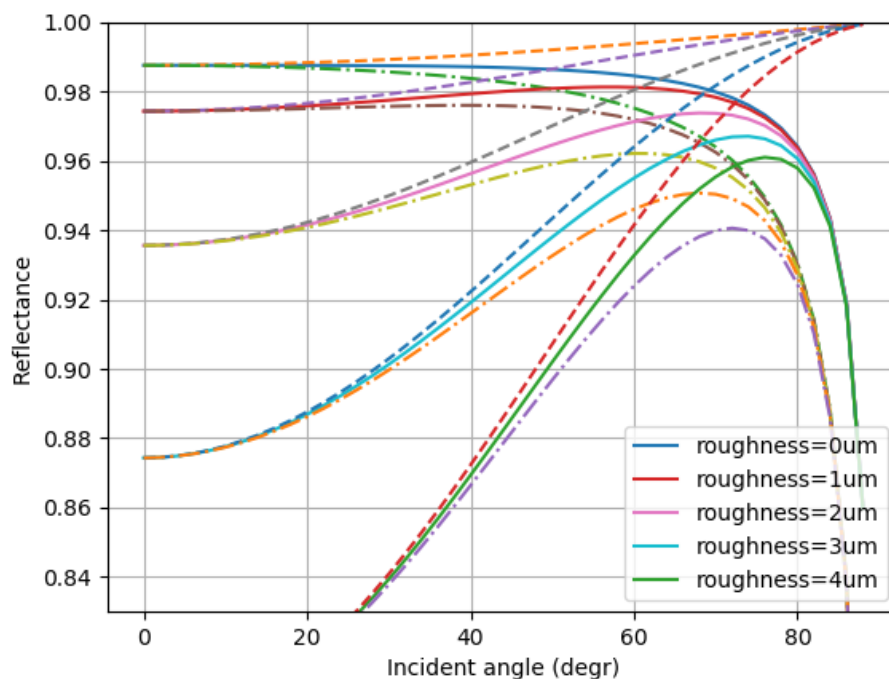


Fig. 17. Al-spegelns reflektans vid 9,54 μm vs. infallsvinkeln för olika ytjämnheter vid belysning av det opolariserade ljuset och S&P-polarisationer.

4) Beläggningar.

- a) **Skyddsskikt.** Förutom ytjämnheten kan betydande förluster (mer än 1%) associeras med en stor tjocklek på skyddsskiktet. Den eller de skyddande beläggningarna som används av Senseair för närvarande minskar reflektansen hos Al-spegeln. Men på grund av att deras tjocklek är liten är minskningen försumbar. Fig. 18 och 19 visar hur reflektansen hos en platt Al-spegel vid $9,54\mu\text{m}$ förändras jämfört med tjockleken på de olika beläggningarna på den. Beräkningar utförda för Al_2O_3 , SiO , SiO_2 , AlN . Vibrationsenergin för bindningen Si-O är dock i storleksordningen $0,124\text{ eV}$ ($10\mu\text{m}$), vilket leder till en absorption vid $9,54\mu\text{m}$.

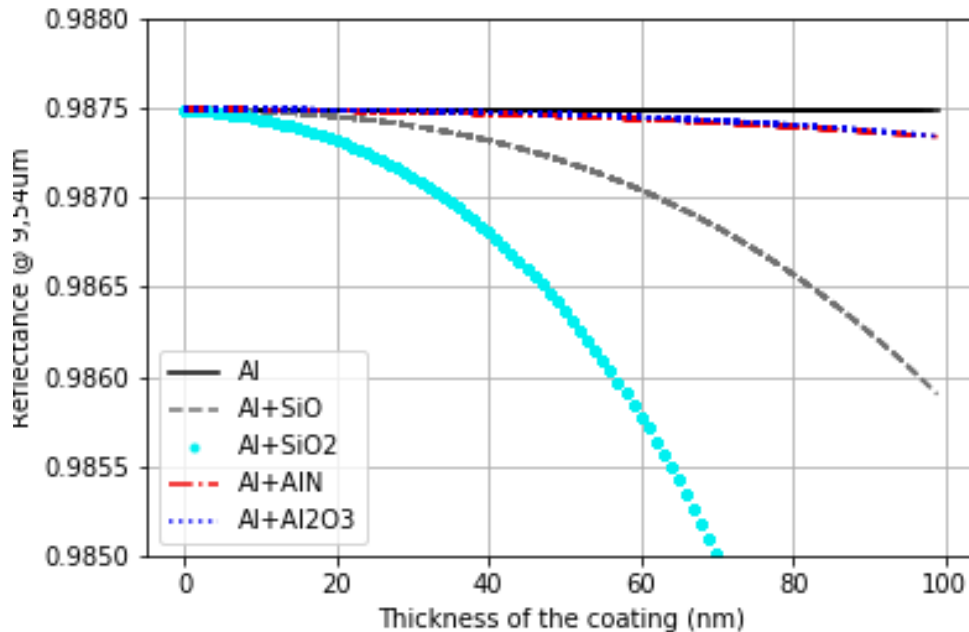


Fig. 18. Reflektion av Al-spegeln vid $9,54\mu\text{m}$ täckt med ett lager av a) SiO , b) SiO_2 , c) AlN . d) Al_2O_3 mot skiktjockleken i intervallet 0-100 nm.

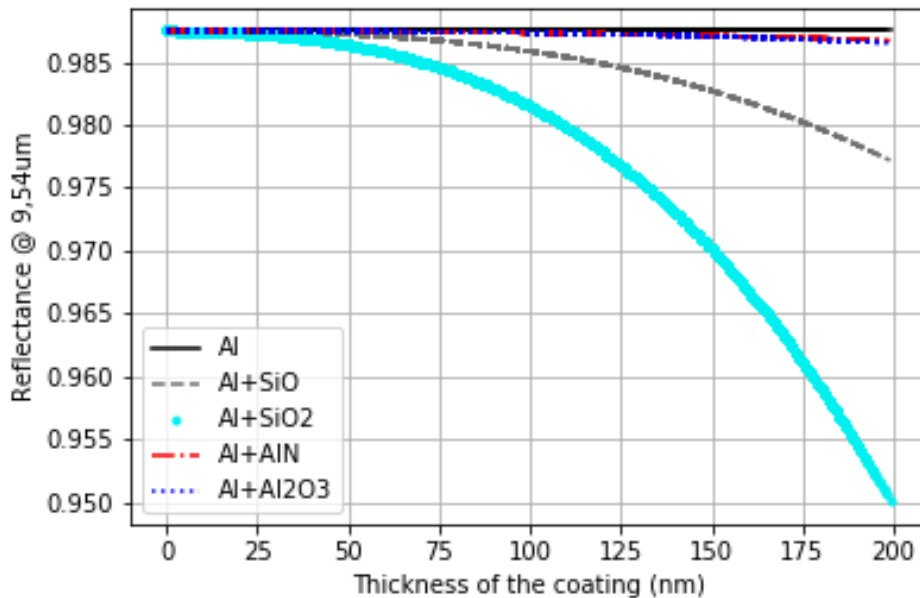


Fig. 19. Reflektion av Al-spegeln vid 9,54 μm täckt med ett lager av a) SiO, b) SiO₂, c) AlN, d) Al₂O₃ mot skiktjockleken i intervallet 0-200 nm.

Figur 20 illustrerar hur stora förluster kan vara vid okontrollerad tjocklek på beläggningen.

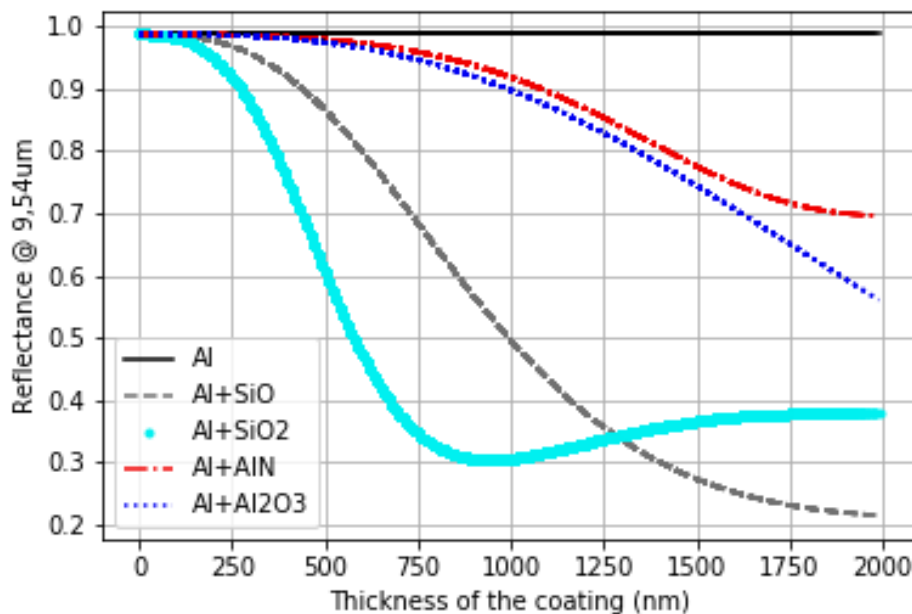


Fig. 17. Reflektion av Al-spegeln vid 9,54 μm täckt med ett lager av a) SiO, b) SiO₂, c) AlN, d) Al₂O₃ mot skiktjockleken i intervallet 0-2000 nm.

- b) **Ökad reflektion.** Genom att analysera optiska material som kan appliceras på en aluminiumspegel som en beläggning för att öka reflektionen vid en våglängd av 9,54 μm , har vi kommit fram till att det inte finns något naturligt material vars lager skulle kunna öka reflektionen. Minst 2 lager av två transparenta material bör användas. Tabell 2 visar materialen och deras tjocklekar som ger en ökning med mer än 1 %. Det yttre lagret måste vara Ge eller Si.

Table 2. En kombination av två skikt som, när de appliceras på en aluminiumyta, ökar reflektansen vid 9,54 μm med mer än 1 %

#	det 1:a materialet	Tjocklek på det första materialet	det 2:a materialet	Tjocklek på det andra materialet	Reflexion	Öka
1	BaF ₂	1600 nm	Ge	611 nm	0.9982	0.0107
2	KBr	1545 nm	Ge	602 nm	0.9981	0.0106
3	NaBr	1478 nm	Ge	602 nm	0.9980	0.0105
4	KCl	1619 nm	Ge	602 nm	0.9983	0.0108
5	NaCl	1576 nm	Ge	602 nm	0.9982	0.0107
6	RbCl	1611 nm	Ge	602 nm	0.9983	0.0108
7	CaF ₂	1800 nm	Ge	602 nm	0.9986	0.0111
8	CaF ₂	1804 nm	Si	697 nm	0.9981	0.0106
9	RbCl	1615 nm	Si	697 nm	0.9977	0.0102
10	KCl	1622 nm	Si	697 nm	0.9977	0.0102

5) *LC modulator.*

Implementering av LC-modulator förbättrar signal-brusförhållandet. Därför var en av uppgifterna i projektet att undersöka en möjlighet att utveckla en LC-modulator för 9,54 μm . Enligt den vetenskapliga litteraturen används LC-modulatorer huvudsakligen för intervallet upp till 5 μm . Samtidigt har vi inte hittat några principiella svårigheter varför en sådan modulator inte kan göras för 9-10 μm . Naturligtvis är kraven på transparens för alla komponenter, d.v.s. substrat, elektroder, inriktningsskikt och själva flytande kristallen, vid 9-10 μm , samt uppnåendet av en relativt stor fasfördröjning, förknippade med ytterligare problem. Men de kan övervinnas. Det finns i alla fall material för sortimentet som intresserar oss. Optimism uppmuntras också att det finns en artikel om utveckling av en LC-modulator för en CO₂-laser (10,6 μm).

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	De erhållna resultaten gav utan tvekan en bättre förståelse av den oelastiska interaktionen av optisk strålning med en aluminiumspegel i MID IR
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Resultaten av förstudieprojektet ger en tydligare bild av nästa steg i ett större projekt som syftar till att minska spegelytans grovhet och tillverka elektrooptiska modulatorer.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		Förstudien var det första steget mot att förbättra prestandan hos alkoholanalysatorer. Dessa resultat ger en bättre förståelse för vart man ska gå för nästa stora projekt, vars slutmål bör vara att få högpresterande enheter i massproduktion.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Resultaten av arbetet i förstudien finns i ett manuskript och kommer att publiceras senare...

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Som ett resultat av förstudie visade det sig att huvudorsaken till minskningen av reflektionsförmågan hos speglar är ytsträvhet. Strävhetens inverkan på reflektionsförmågan har undersökts och ett antal material har belönats som kan appliceras på en spegels yta för att förstärka reflektionen. Samma material kan också användas som ett substrat i en flytande kristallcell. Det utförda komplexet av studier är en bra grund för ytterligare ett större projekt som syftar till att öka känsligheten hos alkomätare och deras massproduktion hos Senseair AB.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Förstudien har genomförts av team från LiU (kontaktperson: Sergiy Valyukh, email: sergiy.valyukh@liu.se, telefon: 013281742) och Senseair AB (kontaktperson: Christine Hummelgård email: christine.hummelgard@senseair.com, telefon: 0653717779)

10 Referenser

- [1] J. Ljungblad, High Performance Breath Alcohol Analysis, Mälardalen University Press Dissertations, 2017.
- [2] Motorförarnas Helnykterhetsförbund. Test avalkomätare. <http://www.mhf.se/sv-SE/sakrare-i-trafiken/bast-pa-alkolas-alkomatare/alkomatare/>, 2017.
- [3] National Highway Traffic Safety Administration. Highway Safety Programs; Conforming Products List of Screening devices To Measure Alcohol in Bodily Fluids, 2012.
- [4] X Liu, S Cheng, H Liu, S Hu, D Zhang, and H Ning. A survey on gas sensing technology. Sensors, 12, 2012.
- [5] P Atkins and J de Paula. Atkins Physical Chemistry. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom, 8 edition, 2006.
- [6] Website of Senseair AB, <https://senseair.com>
- [7] S. Svanberg, Atomic and Molecular Spectroscopy: Basic Aspects and Practical Applications; Springer: Berlin, Germany, 2012; pp. 1–186.
- [8] H. Hussain, J. Kim, S. Yi, Characteristics and Temperature Compensation of Non-Dispersive Infrared (NDIR) Alcohol Gas Sensors According to Incident Light Intensity, Sensors 18(9) 2018.
- [9] https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/alcohol_en
- [10] R. B. Voas, P. Torres, E. Romano, J. H. Lacey, Alcohol-Related Risk of Driver Fatalities: An Update Using 2007 Data, Journal of Studies on Alcohol and Drugs, 341-350 2012.
- [11] <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/trafiksakerhet/Din-sakerhet-pa-vagen/Rattfylleri/fakta-om-alkohol-och-narkotika-i-trafiken/>
- [12] P. Yeh, Optical Waves in Layered Media, Wiley, 2005.
- [13] Handbook of Ellipsometry, ed. H. G. Tompkins, E. A. Irene, William Andrew inc, 2005.
- [14] S. Valyukh et. al, Cholesteric liquid crystal structure, US patent 9046729B2, 2015.
- [15] V. Chigrinov, Liquid Crystal Devices: Physics and Applications, Artech House, 1999
- [16] S. Valyukh, V. Chigrinov, H. S. Kwok, H. Arwin, On liquid crystal diffractive optical elements utilizing inhomogeneous alignment, Opt. Expr. 20, 15209-15221, 2012.