

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

POVRCHOVÉ VRSTVY BRÝLOVÝCH ČOČEK A JEJICH DEGRADACE

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Květa Viskupová

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2010/2011

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením
RNDr. Jaroslava Wagnera, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 16. 05. 2011

.....

Poděkování

Děkuji panu RNDr. Jaroslavu Wagnerovi,PhD. za jeho cenné připomínky a rady k mé bakalářské práci.

OBSAH:

1	Základní vlastnosti brýlových čoček.....	7
1.1	Index lomu (n).....	7
1.2	Abbeovo číslo (ν).....	7
1.2.1	Disperze.....	8
1.3	Adheze vrstvy.....	8
1.4	Teplotní délková roztažnost	8
1.5	Teplotní objemová roztažnost	9
2	Minerální materiály	10
2.1	Sklo.....	10
2.1.1	Materiály používané k výrobě minerálních čoček	10
2.1.2	Suroviny k výrobě skla.....	11
3	Plastové materiály	13
4	Druhy plastových materiálů	15
4.1	CR 39.....	15
4.1.1	Metoda odlévání.....	15
4.1.2	Obráběcí metoda	16
4.2	Trivex	16
4.3	Polykarbonát.....	16
5	Tenké zušlechťující vrstvy na brýlových čočkách	18
5.1	Tvrzení minerálních čoček	18
5.1.1	Tepelné tvrzení	19
5.1.2	Chemické tvrzení.....	19
5.2	Lakování plastových čoček	19
5.3	Antireflexní vrstva.....	20
5.3.1	Napařování ve vakuu.....	21
5.3.2	Naprašování tenkých vrstev	24
5.4	Hydrofobní vrstva	25
6	Vady tenkých zušlechťujících vrstev na brýlových čočkách	27
6.1	Vady lakové vrstvy.....	27
6.2	Vady napařovacích vrstev	28
7	Poškození povrchových vrstev brýlových čoček	30

7.1	Mechanická poškození	30
7.2	Poškození teplem.....	31
7.3	Poškození způsobená nečistotami	32
8	Experimentální práce.....	33
8.1	Postup při teplotě -11°C	33
8.2	Postup při teplotě +85°C	33
8.3	Vliv změn teplot na vrstvy čoček.....	33
8.4	Zátěžové teplotní podmínky	34
8.5	Mechanické zatížení.....	35
9	Reálný stav použitých brýlí.....	38
	Závěr	39
	Seznam literatury	40
	Seznam tabulek.....	42
	Seznam obrázků	43

ÚVOD

V teoretické části své bakalářské práce bych se ráda zabývala základními charakteristikami brýlových čoček. V části praktické bych se pak věnovala vlivu délkové roztažnosti brýlových čoček na degradaci povrchových vrstev. Též mi jako užitečné připadá, zaměřit pozornost na výrobu brýlových čoček, popsat nanášení vrstev na brýlové čočky, jejich možné vady především vzniklé jejich nesprávným používáním resp. zpracováním.

K výrobě čoček se dříve používalo výhradně sklo, dnes převážně plasty (např.: CR39, polykarbonát, Trivex).

Z teorie fyziky je známo, že materiály reagují na změny teplot změnou svého objemu. Obecně platí, že organické (plastové) materiály mají vyšší koeficient délkové roztažnosti než anorganické (sklo).

Proto je cílem mé bakalářské práce prakticky prověřit a zaznamenat, jak se projeví extrémní teplotní změna na antireflexních vrstvách plastových čoček. Domnívám se, že největší možné změny budou zachyceny při vysokých teplotních změnách, tedy při zahřátí na vysokou teplotu a následným rychlým ochlazením. Kromě uvedeného bych ráda sledovala reálný stav brýlí, který bych opět zaznamenávala. Zde předpokládám, že účinkem změny teplot při reálném používání brýlí dojde k poškození povrchové úpravy čoček. Ze zkušeností, jak příbuzní či ostatní lidé nosí a zacházejí s brýlemi bych řekla, že v tomto případě má velký vliv na poškození povrchové úpravy čoček denní a současně delší nošení, ale také velmi záleží na tom, jak šetrně se s brýlemi zachází a též jak často v závislosti na používání jsou ošetřovány.

1 Základní vlastnosti brýlových čoček

Základní charakteristiku každého optického skla tvoří dva údaje:

- index lomu,
- abbeovo číslo.[1]

1.1 Index lomu (n)

Patří mezi základní optické charakteristiky prostředí. Index lomu závisí na vlnové délce světla. Pro světlo určité vlnové délky definujeme index lomu jako:

$$n = \frac{c}{v} \quad c - \text{rychlost světla ve vakuu}$$

v – rychlost světla určité vlnové délky v uvažovaném prostředí

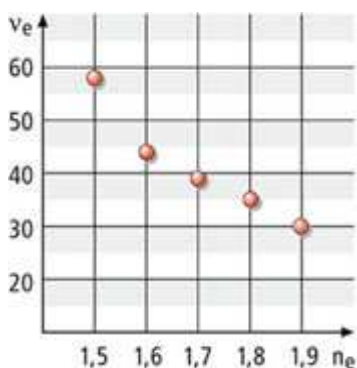
Pokud není určená vlnová délka světla jinak, tak se vztahuje na žluté sodíkové světlo, což je $\lambda = 589,6 \text{ nm}$. Rychlost světla ve vakuu je pro všechny vlnové délky stejná, což je

$$c = 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.[2,3]$$

1.2 Abbeovo číslo (v)

Udává disperzní mohutnost daného průhledného prostředí v oblasti viditelného světla. Pokud je nízké abbeovo číslo, tak udává vysokou úroveň disperze.

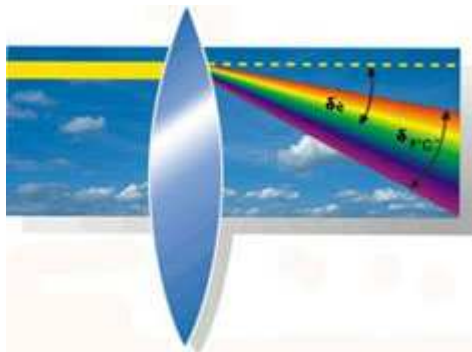
Čím vyšší je abbeovo číslo, tím je nižší index lomu (viz obrázek č. 1-1).[4]



Obrázek 1-1: Index lomu a abbeovo číslo[4]

1.2.1 Disperze

Disperzí nebo-li rozptylem rozumíme jevy vyvolané závislostí indexu lomu látky na vlnové délce světla. Při disperzi dochází hranolem k rozkladu bílého světla na jednotlivé barvy.[4]



Obrázek 1-2: Rozklad bílého světla na jednotlivé barvy[4]

1.3 Adheze vrstvy

Pokud jsou na minerálních čočkách nanесeny antireflexní nebo absorpční vrstvy, je jejich součinitel teplotní roztažnosti podobný a vazba vrstvy je relativně pevná.

Pokud čočky z plastu mají na povrchu nově vytvořenou vazbu relativně malou, tak její přilnavost vrstev je podstatně menší než na čočkách minerálních.

Takže ohřátím a roztažením čočky z plastu se křehká vrstva trhá na drobné kry, které se snadno odlupují od podkladu.[5]

1.4 Teplotní délková roztažnost

Ze zkušenosti víme, že při změně teploty pevných těles dochází ke změně jejich rozměrů a objemu. U pevných látek je jednodušší měřit délkové rozměry než objem, zavádíme proto délkovou teplotní roztažnost.[6]

Z pokusu vyplývá, že prodloužení tyče $\Delta l = l - l_0$ (původní délka l_0 , zvětšení délky tyče před zahřátím l) je přímo úměrná přírůstku teploty tyče $\Delta t = t - t_1$ (počáteční teplotě t_1 , při konečné teplotě t). Jestliže teplota t kovové tyče vzroste o Δt , její délka l_0 vzroste o hodnotu $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t$, kde α [K^{-1}] je na materiálu závislá konstanta zvaná **součinitel teplotní délkové roztažnosti**, její jednotkou je K^{-1} (čteme „na kelvin“).

Dosadíme-li do vztahu za veličiny Δt a Δl , dostaneme po úpravě vztah $l = l_0 [1 + \alpha(t - t_1)]$. [7,8]

1.5 Teplotní objemová roztažnost

Se změnou rozměrů tělesa z pevné látky se při změně teploty mění objem těles. Z experimentálního měření i teoretického odvození vyplývá, že při změně teploty o Δt se změní objem V_0 na takovou hodnotu V , pro kterou platí $V = V_0(1 + 3\alpha \cdot \Delta t) = V_0(1 + \beta \cdot \Delta t)$. [9]

Veličina β je nazývána teplotním **součinitelem objemové roztažnosti**. Součinitel objemové roztažnosti pevné látky se rovná přibližně trojnásobku součinitele délkové roztažnosti dané látky $\beta = 3\alpha$. [7]

2 Minerální materiály

U minerálních čoček rozlišujeme mezi korunovým – draselnovápenatým - nízkoindexovým (Abbeovo číslo > 55) a flintovým – draselnoolovnatým – vysokoindexovým sklem (Abbeovo číslo < 55).[4]

2.1 Sklo

Sklo je pevný, tvrdý, křehký materiál, má stálý objem a tvar, malou tepelnou roztažnost a špatně vodivý. Sklo je amorfni anorganická látka, která vznikla ochlazením taveniny. Amorfni znamená, že její částice nejsou uspořádány do pravidelné krystalové mřížky. Vzniká relativně rychlým ochlazením taveniny sklotvorných oxidů s příměsí taviv a stabilizátorů. Sklo nemá pevný bod tání, pouze při zahřívání plynule snižuje svou viskozitu.

V minulosti se nejvíce používalo sklo, jelikož bylo jediným materiálem pro výrobu brýlových čoček, protože se předpokládá, že plasty se do výroby brýlových čoček začaly produkovat až po druhé světové válce.[10,11]

2.1.1 Materiály používané k výrobě minerálních čoček

Sklo rozdělujeme do 3 základních složek:

- *sklotvorné oxidy* – jsou základem skla. Nejpoužívanějším sklotvorným oxidem je oxid křemičitý, který je hlavní složkou křemičitých skel, dále oxid boritý, oxid fosforečný atd. Surovinou křemičitého skla bývá nejčistší písek, ale i valouny, které jsou rozdrčené a melou se na stejnou zrnitost (0,2 – 0,5 mm). Kdyby nebyla zrnitost stejnoměrná, pak by tavení zrníček neprobíhalo současně. Písek by neměl obsahovat žádné příměsi (např.: oxid železa – způsobuje nežádoucí zelené zabarvení). Jejich tavící teplota je velmi vysoká 1715°C, používá se v nutných případech,
- *taviva* – mají za úkol snižovat příliš vysokou teplotu tání křemene, přidáním dalších složek, kterými jsou oxid sodný a oxid draselný. Taviva se roztaví i při nižší teplotě (teplota oxidu sodného je 853°C, teplota oxidu draselného je 909°C),
- *stabilizátory* – udržují chemickou stálost skla a výrazně ovlivňují také jiné výsledné vlastnosti skla. Taviva snižují chemickou a mechanickou odolnost vytaveného skla, proto se do sklářského kmene pro zlepšení výsledných vlastností přidávají také stabilizátory. Patří sem oxidy nejrůznějších kovů: oxid hlinitý, oxid vápenatý, oxid zinečnatý a v neposlední řadě i oxid olovnatý.

Ve skle máme také sklomodifikující oxidy, které ovlivňují tepelné, mechanické, optické, chemické a další vlastnosti skel.[11,12,13]

2.1.2 Suroviny k výrobě skla

Můžeme rozdělit do následujících 5 fází:

1.) *Příprava sklářského kmene* – přesně navážené suroviny ve tvaru jemných prášků se pak ve speciálních strojích nechávají nejmenno rozemlít a důkladně promíchat za provlhčení vody. Tak dostaneme sklářský kmen. Pro zlepšení kvality budoucího skla se do sklářského kmene přidávají střepy skla, tak vzniká vsázka.

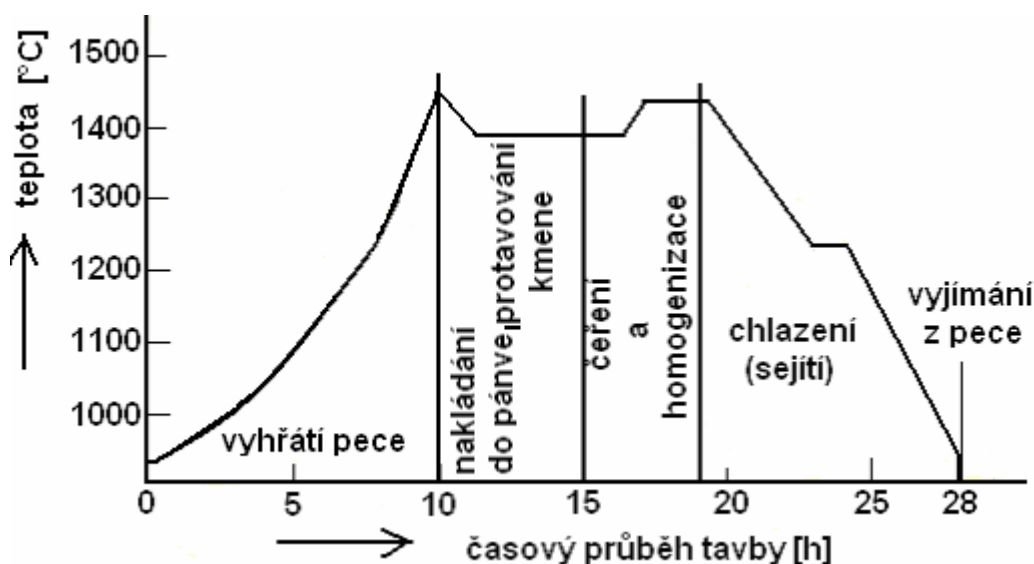
Suroviny + voda = kmen + střepy = vsázka

2.) *Tavba* – suroviny se taví ve speciálních nádobách (pecích, kelímcích) při teplotě 1400°C až 1500°C.

3.) *Čerění* – při zvýšení teploty asi o 50°C až 100°C se sklovina stane tekutější, díky čemuž lépe unikají bubliny naplněné vzduchem nebo jinými plyny.

4.) *Homogenizace* – slouží k dokonalému promíchání tekutější skloviny pomocí šamotového míchadla (vrtulového nebo tyčového tvaru).

5.) *Ochlazování (sejítí)* – se provádí přímo v peci (asi do teploty 1200°C až 900°C), přitom se snižuje intenzita míchání. Postupně se začne snižovat teplota pece a nastává ochlazování skloviny.



Obrázek 2- 1: Časový režim tavby korunového skla[13]

V běžné sériové výrobě brýlových čoček je sklovina kapávána automaticky do miskovitých forem, které jsou projížděny chladícím tunelem. Tak vzniká polotovar skleněného výlisku, který má tvar a průměr budoucí čočky s určitým rozsahem vrcholových

lámavostí. Vrcholová lámavost brýlových čoček je odstupňována většinou po 0.25 D a u vysokých lámavostí je dělena po 0,5 D.

Výlisky procházejí nejprve vstupní kontrolou, kde se zjišťují jejich povrchové vady a vnitřní pnutí. Pokud jsou výlisky v pořádku, nastává frézování diamantovým nástrojem. Frézuje se konvexní plocha (brusná miska) a konkávní plocha (brusný nástroj ve tvaru hříbku). Během tohoto procesu je diamantový nástroj ochlazován. Když jsou skla vyfrézována, tak nastává lapování pomocí diamantových tablet. Diamantové tablety jsou nalepeny na miskovém nebo hříbkovém nástroji (lepí se do spirály) a ochlazují se pomocí suspenze. Pokud je sklo očištěné od brousících přípravků, nastává leštění na leštících strojích. Po vyleštění výrobek prochází několika lázněmi a kontrolou.[10,11,12,13]

3 Plastové materiály

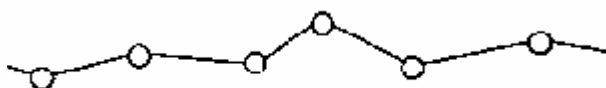
Plastové čočky mají příznivé optické vlastnosti.

Pod pojmem plast je možné si představit jakoukoli umělou (syntetickou) hmotu.

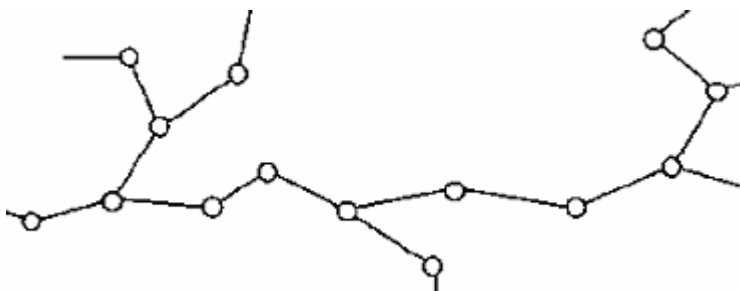
Polymery se vyrábějí z jednoduchých organických sloučenin chemickými reakcemi, při nichž se velký počet molekul jedné nebo více jednoduchých sloučenin monomeru spojuje v makromolekulu výsledného polymeru. Nejčastějšími reakcemi jsou polymerace (molekuly jednoduché organické sloučeniny spojují za vzniku makromolekulární látky) a polykondenzace (velký počet molekul dvou monomerů vzájemně váže do makromolekuly polymeru).

Fyzikální vlastnosti z umělých polymerů mají rozhodující vliv, tvar a strukturu makromolekul. Makromolekuly mají různou strukturu řetězců:

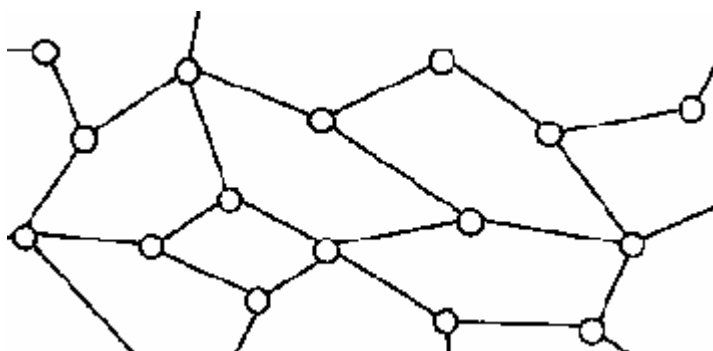
→ lineární – stavební jednotky jsou uspořádány za sebou



→ rozvětvené – vznikají příčným spojením všech lineárních řetězců do jednoho celku



→ prostorově síťované – stavební jednotky do trojrozměrné sítě



Polymery s lineárními a rozvětvenými řetězci se dají po nahřátí tvarovat. Jejich vláknité rovnoběžné uložené makromolekuly se mohou vůči sobě volně posunovat. Při ochlazování zase tuhnou do pevné podoby. Tento děj se dá opakovat, aniž by se změnila chemická

podstata materiálu. Velmi dobře se rozpouštějí v organických rozpouštědlech. Díky těmto vlastnostem je zařazujeme mezi tzv. **termoplasty** (teplem tvárné). Patří sem např.: acetát celulózy, plexisklo, polyamidy, polykarbonáty, polystyren atd.

Polymery se síťovanými řetězci jsou v podstatě pevnější, snižuje se rozpustnost v organických rozpouštědlech a mnohem hůře se tvarují po nahřátí. Jejich lineární řetězce makromolekul jsou navzájem propojeny příčnými vazbami. S rostoucím počtem vazeb se omezuje vzájemná pohyblivost řetězců makromolekul. Tyto polymery zařazujeme do **reaktoplastů** (termosetů). Reaktoplasty dostávají svůj konečný tvar při výrobě během zahřívání ve formě. Patří sem např.: Orma (CR39).

Plasty se vyrábějí z přírodních i syntetických makromolekulárních látek. Při výrobě plastů se základním makromolekulárním surovinám přidávají různé zušlechťující přísady:

- *změkčovadla* – slouží k usnadnění počátečního zpracování směsi a zlepšují možnosti tvarování výrobků. Změkčovadla se mohou volně pohybovat a postupně se dostávají na povrch výrobků, kde se vypařují a stávají se křehkými. Sleduje se také i alergičnost změkčovadel, která se v oblasti nosníku obruby a stranic dostávají na kůži nositele brýlí,
- *pigmenty* – slouží k vytvoření nejrozličnějších barevných odstínů vyráběných z plastů,
- *stabilizátory* – zpomalují stárnutí plastů vlivem tepla, světla, chemickými vlivy. Přidávají se tzv. inhibitory (pohlcovače) UV-záření, které zabraňují pronikání tohoto záření do hloubky materiálu a zároveň plní svou ochrannou funkci pro oči uživatele brýlí před jeho škodlivým účinkem.[14]

V očních optikách se více zajímají o výrobu plastových brýlových čočkách (např.: CR39, polykarbonát, trivex), protože se také nejvíce používají.

4 Druhy plastových materiálů

4.1 CR 39

V roce 1939 byl vyvinut vysoce transparentní a odolnější allyldiglycolcarbonat, známý jako Columbia Resin 39 (CR 39), 39 je číslo vzorku. CR 39 je organický materiál skupiny reaktoplastu (termoset), vlivem tepla tvrdne.[15,16]

Patří do skupiny allylových esterů – jsou to chemické deriváty organických kyselin. Připravují se esterifikací: organická kyselina + alkohol = ester + voda.[16]

Výhody CR-39:

- nižší hustota než u silikátových čoček,
- UV absorpce do 360 nm,
- dobrá barvitelnost,
- snadná opracovatelnost,
- odolnost proti většině druhů chemikálií.[15]

Nevýhody CR-39:

- malá odolnost proti poškrábání.[15]

Pro výrobu plastových čoček z materiálu CR-39 se používají 2 metody:

- metoda odlévání,
- obráběcí metoda.

4.1.1 Metoda odlévání

Nejprve je potřeba zkontrolovat dokonalou čistotu monomeru (zkouškou transparentnosti na chromatografickém analyzátoru). Potom v přesném poměru namícháme složky výchozí suroviny, které jsou v absolutně bezprašném prostředí vpraveny plnicím zařízením mezi dvě formy (nejčastěji skleněné) spojeny těsnícím kroužkem přesně definovaného tvaru, rozměru a elasticity. Během procesu tvrzení se zmenšuje objem materiálu ve formě asi o 14 %. Smršťující se materiál musí být kompenzován elastickými těsnícími kroužky, které se po skončení procesu již nedají znovu použít.

Dvě plochy těchto forem, jedna konvexní, jedna konkávní a tloušťku profilu těsnícího kroužku udávají parametry požadované čočky. Kvalita výsledného odlitku je závislá

na kvalitě opracování obou funkčních ploch formy. Po naplnění se kompletní formy vloží do prostředí s přesně regulovanou teplotou závislou na čase a s množstvím dostatečně rychlých teplotních změn.

Čočky polymerují při přesně elektronicky řízené teplotě v rozsahu 40°C až 100°C přibližně 20 hodin. Tato doba závisí na množství materiálu mezi formami. Z polymerované čočky je nutno určitou dobu temperovat v horkovzdušných sterilizátorech při vyšší teplotě, aby se odstranilo vnitřní pnutí, které je po skončení polymerace značné. Temperancí je dosaženo rovnoměrného rozložení napětí materiálu.

Tento způsob výroby klade vysoké nároky na kvalitu a pečlivost provedení celého technologického postupu.[16,17,18]

4.1.2 Obráběcí metoda

„Výroba čoček z polotovarů je výhodnější nejen u vyšších dioptrických hodnot.

Výroba plastových čoček z polotovarů je při použití kvalitního technologického vybavení relativně jednoduchá.

Frézování diamantovým nástrojem se podle technologického výpočtu výroby na konvexní straně polotovaru nová plocha s požadovanými poloměry zakřivení. Na brousicích strojích je vyfrézovaná plocha vyhlazena smirkovou fólií. Fólie jsou přitom nalepeny na tzv. šály, což jsou přípravky s přesným poloměrem brousící plochy, které odpovídá zakřivení vyfrézované plochy polotovaru.

Po vybroušení, kdy je povrch opracované plochy hladký, ale dosud matný, jsou čočky leštěny principiálně stejným způsobem, smirkové fólie jsou však nahrazeny fólií napuštěnou leštící suspenzí. Po dokonalém vyleštění, opatrném a pečlivém očištění a po prověření kvality výstupní kontrolou je čočka hotová“.[18]

4.2 Trivex

Se používá většinou do vrtaných a vázaných obrub, protože je to odolný, extrémně pružný a nejlehčí ze všech dostupných materiálů. Díky svým vlastnostem vytlačuje starší polykarbonát.[17]

4.3 Polykarbonát

Obecně se vyznačují svou houževnatostí a pevností, což je způsobeno hlavně délkou makromolekuly. Polykarbonát je termoplast.

Granule jsou roztavená při teplotě 320°C a tavenina je vstřikována pod tlakem do kovových forem s perfektně hladkými vnitřními plochami. Speciálním zařízením je čočka stlačována. Tím je zabráněno smršťování materiálu a dosahováno perfektní povrchové úpravy. Celý proces trvá asi 2 minuty. Po vynětí z formy je čočka okamžitě povrchově upravena lakem. Následnou polymerací je dosaženo pevnějšího spojení laku a substrátu.[15,16]

Výhody polykarbonátu:

- vysoká odolnost proti nárazu a zlomu,
- vysoký index lomu,
- vhodný do vrtaných brýlí,
- malá specifická váha,
- možnost aplikace všech povrchových úprav.[15]

Nevýhody polykarbonátu:

- malá odolnost proti poškrábání,
- relativně nízké Abbeovo číslo,
- velmi nákladná výroba a zpracování materiálu,
- obtížná barvitelnost materiálu,
- specifické nároky na opracování.[15]

Tabulka 4-1: Srovnání materiálu na výrobu čoček[15]

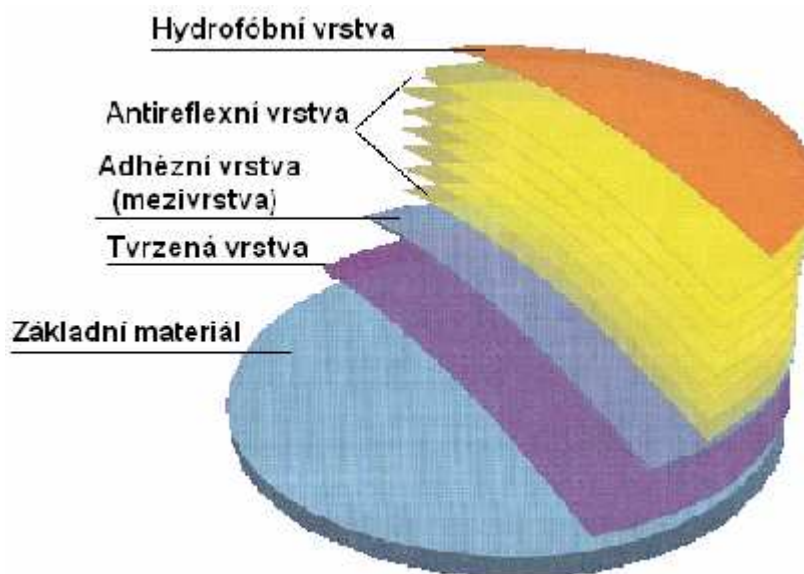
	CR 39	Polykarbonát	Korunové sklo
Index lomu	1,498	1,586	1,523
Abbeovo číslo	58	32	58
Specifická hmotnost	1,32g/cm ³	1,20g/cm ³	2,55g/cm ³
Tepelná odolnost	130°C	222°C	600°C
Tvrzení	možné	možné	možné
AR – vrstva	možná	možná	možná
Nárazuvzdornost	dobrá	výborná	nízká
Způsob výroby čoček	litím, obráběním, kombinací litím a obráběním	vstřikováním	obráběním

5 Tenké zušlechťující vrstvy na brýlových čočkách

Tenké vrstvy, které se nanášejí na brýlové čočky, mají mnoho různých účelů. Některé mají význam funkční, optický, některé estetický a někdy je účinek kombinovaný.[5]

Tenké vrstvy rozdělujeme na:

- Tvrzení minerálních čoček,
- Lakování plastových čoček (Otěruvzdorná vrstva),
- Antireflexní vrstva,
- Hydrofobní vrstva.



Obrázek 5-1: Jednotlivé vrstvy na čočce[19]

5.1 Tvrzení minerálních čoček

Minerální čočky se tvrdí proto, aby v případě rozbití se roztříštily na větší a bezpečné kusy, které by nepoškodily oko.[20]

Dělíme je na:

- Tepelné tvrzení,
- Chemické tvrzení.

5.1.1 Tepelné tvrzení

Důkladně očištěná čočka se zahřeje na teplotu měknutí (asi 600-700°C) po dobu 2 až 5 minut ve speciálních pecích. Čočka je zahřátá na teplotu měknutí, dochází k mírné deformaci. Pece na tvrzení skla jsou speciálně navrženy, aby při procesu tvrzení dynamicky regulovaly teplotu a tím i zamezily jejich deformaci.

Potom je čočka následně ochlazená proudem vzduchu nebo ponořením do chladicí kapaliny (např.: silikonový olej). Po postupném ochlazení jádra dojde k vzájemnému pnutí mezi povrchovou vrstvou a jádrem – smrštění. Uvnitř čočky působí tahové napětí a na povrchu vzniká tlakové napětí.

Velké vnitřní napětí lze prokázat zkouškou pnutí – tenzoskop.[11]

5.1.2 Chemické tvrzení

Nejdříve vložíme čočky do speciálního nosiče. Potom se čočky z korunového skla ponoří do lázně roztaveného KNO_3 (dusičnanu draselného) s malým množstvím kyseliny křemičité. Při chemickém tvrzení se teplota udržuje asi na 400°C po dobu 16 hodin. Podstatou procesu je, že sodíkové ionty se uvolňují ze skloviny do lázně, jejich místo zaujmají větší draslíkové ionty. Potom košík ze skly vynoříme z lázně, necháme je odkapat, vychladnout a dokonale několikrát opláchneme ve vodě.

Chemické tvrzení zvyšuje odolnost proti rozbití.[11]

5.2 Lakování plastových čoček

Plastové čočky jsou měkčí a náchylnější na poškrábání povrchu a mají vyšší citlivost vůči mechanickému poškození. Proto se nanáší na obě strany čočky tenká vrstva tvrdého laku.

Brýlové čočky jsou nejdříve před nanesením laku odmaštěny pomocí lihu. Potom se myjí v několika lázních s ultrazvukem – destilovanou, demineralizovanou, neionizovanou vodou a pak se osuší. Mytí a sušení probíhá automaticky na univerzální myčce řízené počítačem.[21]

Pak se čočky ponoří do speciálního laku a následuje přesně řízené vynořování. Polymerace laku trvá v peci při 120°C asi po dobu 3 hodin. Pro kvalitu vrstvy je důležité zvolit odpovídající rychlost vynořování a dodržet absolutní čistotu povrchu a prostředí. Díky tomu jsou plastové čočky povrchově vytvrzeny a tím chráněny před poškozením a také se zvyšuje jejich životnost.[11]



Obrázek 5-2: Lakování čoček[4]



Obrázek 5-3: Lakování čoček[21]

5.3 Antireflexní vrstva

Antireflexní vrstva je povrchová úprava brýlových čoček, zvyšující propustnost čoček až na cca 99 %. Antireflexní vrstvy odstraňují rušící odrazy a odlesky na předních i zadních plochách čoček, zvýší kvalitu vidění, ostrost, sníží únavu očí a bolesti hlavy. Mimo vyšší propustnosti získají čočky s antireflexní vrstvou i zajímavý vzhled účinkem „zbytkového“ odrazu, který je patrný na plochách čoček. Tento odraz může mít různé barevné odstíny (fialový, zelený, zlatý apod.), podle přání zákazníka.

Antireflexní vrstva je doporučena především řidičům při jízdě za šera nebo v noci a pro lidi pracující často na počítači. Zlepšuje kvalitu zobrazení za všech situací.[22]

Antireflexní vrstvy nanášíme dvěma způsoby:

- napařováním ve vakuu,
- napařováním tenkých vrstev.

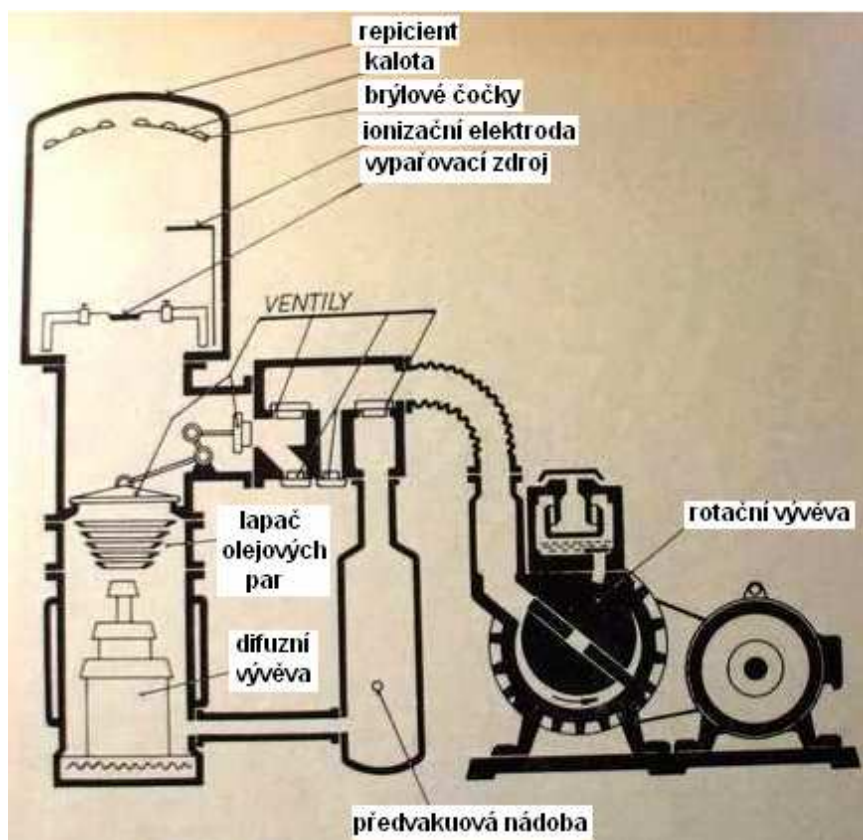
5.3.1 Napařování ve vakuu

Tato metoda je v současné době nejrozšířenějším způsobem nanášení tenkých vrstev. Podstata metody spočívá v tom, že při velmi nízkém tlaku (menší než 10^{-3} Pa) se vytvoří páry materiálu, který chceme nanášet, a tyto páry kondenzují (srážejí se) na předmětech určených k vypařování.

Dokonalé čočky se umístí do kaloty, která má převážně tvar kulového vrchlíku (viz obrázek č. 5-4). Tento tvar je volen s ohledem na dosažení rovnoměrnosti nanesení vrstev na všechny napařované součásti. Celá kalota musí být zaplněna. Kalota se umístí do napařovací aparatury a po celou dobu procesu se otáčí kolem své osy.[23]



Obrázek 5-4: Držák čoček (kalota)



Obrázek 5-5: Schéma vakuové napařovací aparatury[23]

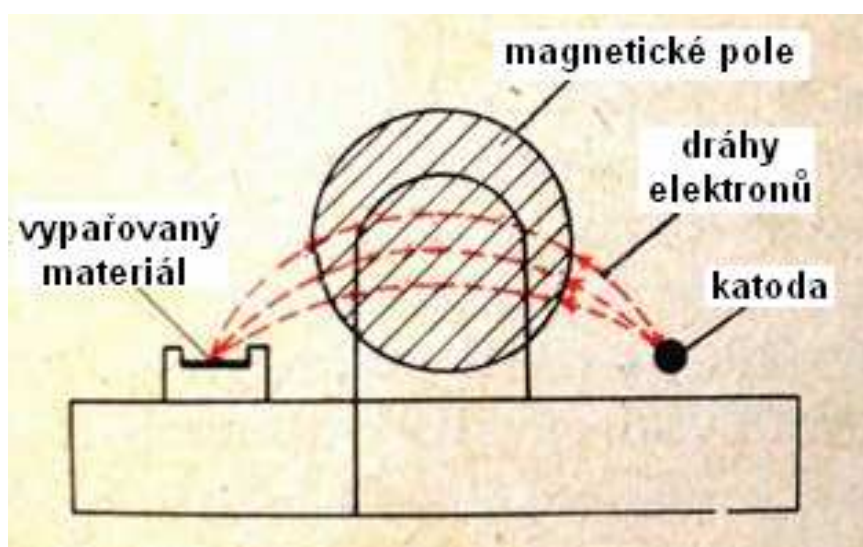
Na obrázku č. 5-5 je klasické uspořádání vakuového napařovacího zařízení s rotační vývěvou a s olejovou difuzní vývěvou s velkou čerpací rychlostí a s účinnými lapači olejových par, chlazenými tekutým dusíkem. Čočky, na které chceme nanést tenké vrstvy, umístíme do vakuového těsně uzavřeného prostoru, který je tvořen kovovým zvonem, tzv. recipientem, ze kterého odčerpáváme vzduch vysoko vakuovým čerpacím systémem (vývěvami) až na velmi nízký tlak 10^{-3} až 10^{-5} Pa. Toho se dosahuje přibližně po jedné hodině čerpání a celý cyklus se prodlužuje přidavným ohřevem a chlazením až na několik hodin. Tlak 10^{-6} Pa a nižší vyžaduje odplynění součástí v napařovacím prostoru.

Materiál, který má být nanášen, umístíme ještě před čerpáním do recipientu na odpařovací zdroj (lodičku). Po dosažení potřebného vakua zahřejeme materiál pomocí přímého průchodu elektrického proudu odpařovacím zdrojem, až se začne vypařovat. Vzhledem k velmi nízkému tlaku vzduchu v recipientu nemají molekuly par opouštějící lodičku žádné nebo mají jen málo srážek s molekulami zbylého vzduchu a téměř nic jim nebrání dosáhnout povrchu vrstevných čoček, na kterém kondenzují a ke kterému těsně přilnou.[23]

Kromě vypařování daného materiálu z lodičky existuje ještě modernější a dnes používanější metoda elektronového děla (viz obrázek č. 5-6) – bombardování materiálu k napařování elektronovým svazkem.[23]

5.3.1.1 Elektronové dělo

Svazek rychlých elektronů z katody se soustředí na vypařovaný materiál, který se v místě dopadu rozzhává na vysokou teplotu k vypařování. Pára pak kondenzuje – podobně jako vodní pára při varu sráží na pokličce a na chladnějším substrátu pomalu vytváří vrstvu. Po dosažení požadované tloušťky vrstvy se odpařovací proces ukončí. Touto metodou je možné vypařovat materiály, které se z lodičky vypařují jen obtížně nebo vůbec ne.[23]



Obrázek 5-6: Schéma elektronového děla[29]

5.3.1.2 Napařované materiály

K napařování se používá jak čistých, tak i vícesložkových soustav, tj. směsí, slitin a sloučenin. Materiály určené k napařování musí být zbaveny všech nečistot, a to i plyných – při napařování se uvolňují a mění složení napařovacího prostoru. Materiály používané při výrobě tenkých vrstev ve vakuu rozdělujeme na základní (vrstvotvorné) a pomocné.

Základní materiál (nejpoužívanější materiály viz tabulka č. 5-1) se dělí na:

- kovové (výrobci dodávají ve formě kuliček nebo granulí),
- dielektrické (výrobci dodávají ve formě tablet nebo prášků).

Některé dielektrické materiály mají relativně vyšší odolnost proti chemickému a mechanickému namáhání než vrstvy z kovových materiálu.

Mezi pomocné materiály patří wolfram, molybden, tantal, grafit a keramika. Používají se na zhotovování odpařovacího zdroje (lodičky). Materiál musí na lodičce dobře ulpívat a mít nižší teplotu odpařování, než je tavná teplota lodičky.[23]

Tabulka 5-1: Nejčastěji používané kovové a dielektrické napařovací materiály[23]

Materiál		Napařovací teplota při tlaku 1,3Pa	Doporučený materiál odpařovacího zdroje
Kovy	Hliník	996	Wolfram, tantal, molybden
	Stříbro	1046	Wolfram, tantal, molybden
	Měď	1273	Wolfram, tantal, molybden
	Chrom	1205	Wolfram, grafitový kelímek
Dielektrika	Fluorid hořečnatý	1120	Tantal, oxid hlinitý, elektronové dělo
	Oxid křemičitý	2000	Elektronové dělo
	Oxid titanatý	1800	Wolfram, elektronové dělo, tantal
	Oxid titaničitý	2000	Elektronové dělo
	Oxid hlinitý	1900	Elektronové dělo
	Oxid zirkoničitý	2400	Elektronové dělo
	Oxid zinečnatý	970	Elektronové dělo, molybden, tantal

5.3.2 Naprašování tenkých vrstev

Dělíme na dva způsoby:

- klasické naprašování,
- magnetronové naprašování.

5.3.2.1 Klasické naprašování

„Při klasickém naprašování je terč z vodivého materiálu, který je umístěn ve vakuové komoře se sníženým pracovním tlakem (jednotek Pascalů) a je přiveden na vysoký záporný potenciál (tisíce voltů). Do komory se přes jehlový ventil připouští plyn (argon). Před terčem se zapálí doutnavý výboj (kladné ionty bombarduje záporný terč), záporné elektrony dopadají na uzamčenou kostru komory. Těžké ionty svým dopadem rozprašují terč a usazují se na vnitřních površích. Substráty se umísťují před terč – na nich vzniká tenká vrstva“.[24]

5.3.2.2 Magnetronové naprašování

Je to zdokonalená technologie klasického naprašování.

Před terčem je vytvořeno magnetické pole definovaného elektromagnetem nebo permanentními magnety – magnetron. Elektronů se pohybují po šroubovici podél siločar, které umožňují udržet výboj při nižším tlaku (desetiny Pascalů) i při nižším napětím (stovky voltů). Zejména nižší tlak se pozitivně projevuje ve větší čistotě vytvářených vrstev.

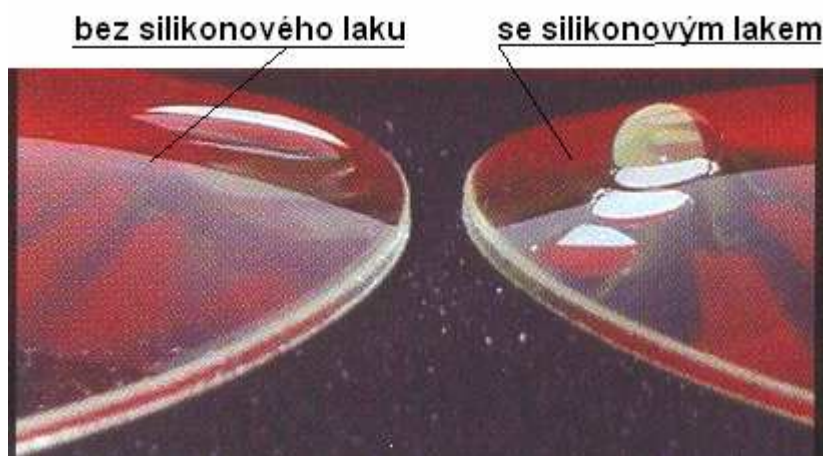
Pokud do vakuové komory budeme přes jehlový ventil připouštět jiné plyny (např.: dusík, kyslík), můžeme vytvářet vrstvy velmi tvrdé a odolné.[24,25]

5.4 Hydrofobní vrstva

Hydrofobní vrstva je poslední etapa úpravy po antireflexní vrstvě. Používá se proto, že brýlové čočky jsou s okolním prostředím v kontaktu, jako je např.: prach, dešťové kapky, otisky prstů.

Hydrofobní úprava se nanáší dvěma způsoby, a to buď lakováním (pro minerální čočky) nebo vakuovým napařováním (pro plastové čočky).

První způsob je, že kompletně hotová čočka s nanesenou antireflexní vrstvou se ponoří do zředěného roztoku speciálního silikonového laku. Po vyjmutí z roztoku se lak usuší za zvýšené teploty. Tím se na povrchu čočky vytvoří vrstva zaschlého laku, která není všude stejně silná, proto následuje krátké ponoření čočky do směsi rozpouštědel a ruční vyleštění povrchu čočky speciální tkaninou. Tak vznikne hladký hydrofobní povrch, který je všude stejně silný, brání usazování nečistot a odpuzuje vodu.



Obrázek 5-7: Rozdíl bez a se silikonovým lakem[26]

Kapky vody na minerální čočce s antireflexní vrstvou bez silikonovým lakem a se silikonovým lakem

„Druhý způsob je, že hydrofobní vrstva se nanáší přímo ve vakuovém zařízení metodou napařování, kdy je do antireflexní struktury zařazena tenká vrstvička hydrofobního materiálu, která je nanášena přímo při nízké teplotě. Hydrofobní vrstva nepatrně ovlivňuje optické vlastnosti antireflexní vrstvy. Pokud má být jejich struktura stejná, je nutno provést korekci tloušťky původní povrchové vrstvy. To znamená, že tato vrstva se musí napařit o něco málo tenčí, než kdyby hydrofobní vrstva nebyla použita.

Hydrofobní úprava povrchu brýlových čoček přináší konečnému uživateli nezanedbatelné výhody. Zvyšuje odolnost povrchu čoček vůči mastnotám, zvyšuje odpudivost vody, a snižuje poškrábání čoček při čištění. Díky těmto vlastnostem se čočky s antireflexní vrstvou a hydrofobní vrstvou snadno čistí“.[26]

6 Vady tenkých zušlechťujících vrstev na brýlových čočkách

Na optických tenkých vrstvách, které jsou na povrch nanесeny, může vzniknout poškození v průběhu výroby (jedná se o výrobní vadu). Výrobní vadu zachytí kontrola a taková čočka se k zákazníkovi vůbec nedostane.[27]

6.1 Vady lakové vrstvy

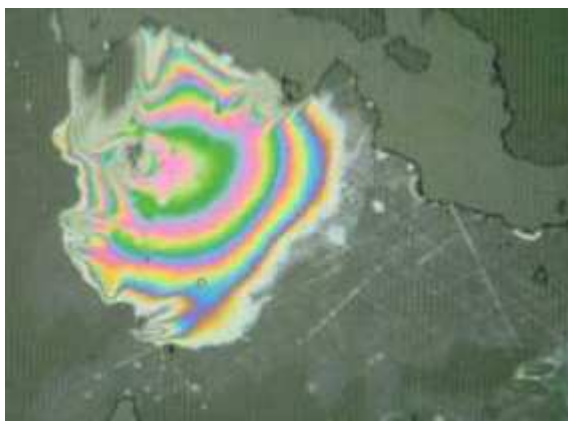
Lak je nanášen ve formě roztoku v těkavém rozpouštědle na povrch čočky. Pokud je povrch čočky před lakováním nedokonale očištěn, nebo se může stát, že do lakové náplně se dostane prach, způsobí to vadu na vrstvě.

Těsně po nalakování je povrch značně lepkavý. Pokud dojde ke kontaktu prachové částice s čerstvě nalakovaným povrchem čočky, zrnko prachu se na něj přilepí a dosud tekutý lak jej zalije (viz obrázek č. 6-1). Tato vada je pozorovatelná jako tmavá tečka proti světlému pozadí.[27,28]



Obrázek 6-1: Zrnko prachu v lakové vrstvě[28]

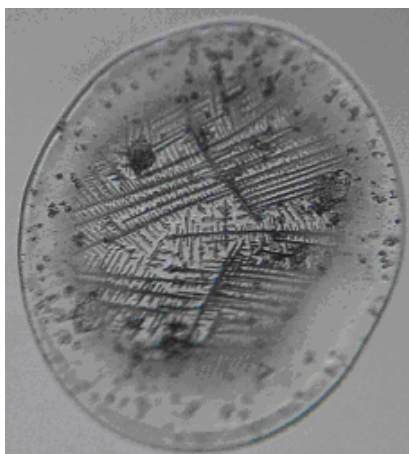
Vada způsobená nedokonalým očištěním povrchu čočky (viz obrázek č. 6-2) je nejlépe pozorovatelná ve světle odraženém z povrchu čočky. V lakové vrstvě jsou zřetelně vidět zbarvené oblasti. Povrch laku i plastu je sice mírně poškrábán, ale oloupání laku není způsobeno mechanickým stržením.[28]



Obrázek 6-2: Oloupání lakové vrstvy[28]

6.2 Vady napařovacích vrstev

Pokud je povrch čoček před vakuovým napařováním nebo v jeho průběhu znečištěn, způsobí to vadu ve vrstvě, nebo sníží adhezi vrstvy k povrchu čočky. Mezi příčiny vad patří např.: otisk prstu, zaschlá mikroskopická kapka slin (viz obrázek 6-3). Pokud jsou taková znečištění překryta napařenou vrstvou, dojde okamžitě ke sloupnutí napařené vrstvy v zasaženém místě. Vada je pozorovatelná v procházejícím světle proti tmavému pozadí jako jasně svítící bod nebo krátké vlákno. Pro správnou identifikaci je lepší použít mikroskop.[27,28]



Obrázek 6-3: Zaschlá mikroskopická kapka slin[27]



Obrázek 6-4: Loupání antireflexní vrstvy[28]

„Další vadou může být zrnko nebo vlákno prachu (viz obrázky č. 6-5), která se přichytí na optické plochy čoček před vložením do vakuových komor napařovacích zařízení“.[27]



Obrázek 6-5: Vada způsobena prachovým vláknem ulpěným na povrchu čočky[28]

7 Poškození povrchových vrstev brýlových čoček

U některých vad, které nejsou po dokončení výrobního procesu zjevné, můžou s částí vzniknout chybou při opracování čoček u optika, avšak většinou vznikají nevhodným zacházením s hotovými brýlemi u konečného zákazníka.[27]

7.1 Mechanická poškození

Mechanická poškození můžou vzniknout poškrábáním (nejčastější příčina), nebo u měkčích materiálů se dají deformovat tlakem.

Povrch čočky poškodíme škrábnutím, tak že budeme táhnout s přítlakem po daném materiálu hrotem o vyšší tvrdosti. Platí to tehdy, když je materiál v dostatečně silné vrstvě, nebo je podložen materiálem s vyšší nebo stejnou odolností proti deformaci, než jakou má sám. Většina plastů je výrazně měkčích než sklo a dají se tlakem snadno deformovat.

Materiály pro nanášení vrstev na plastové čočky (např. SiO_2) jsou tvrdší, než materiály používané pro vrstvy na silikátové čočky (např. MgF_2).

Na obrázku č. 7-1 můžeme vidět škrábance způsobené částicemi nečistot ulpěnými na přípravku, který čočku přitlačuje při upnutí do zabrušovacího zařízení.[27]



Obrázek 7-1: Škrábance způsobené částicemi nečistot[27]

Na obrázku č. 7-2 můžeme vidět poškození, které je způsobené buď od znečištěné přísavky při obrušování čočky nebo při pokusu čištění brýlí mezi znečištěnými textiliemi.[27]



Obrázek 7-2: Při vyčištění brýlí nebo znečištěná přísavka při obrušování[27]

7.2 Poškození teplem

„Koeficient tepelné roztažnosti plastových čoček je výrazně větší, než koeficient tepelné roztažnosti materiálu, ze kterých se vyrábějí napařované vrstvy. Vrstvy se nanášejí na plastový podklad téměř při pokojové teplotě a pro tuto teplotu jsou také vzájemně přizpůsobeny. Pokud je plastová čočka vystavena vysoké teplotě, rozpíná se. Antireflexní vrstvy se sice rozpínají také, ale mnohem méně. Při překročení určité kritické hranice (závislé na konkrétním materiálu čočky i vrstev dosáhne pnutí ve vrstvě takové hodnoty, že vrstvu roztrhá. Následkem vznikne velké množství vlasových prasklin po celém povrchu antireflexní vrstvy. Pokud došlo k přehřátí jen na části čočky může být popraskáním zasažena také jen část povrchu čočky. Z hlediska optika představuje riziko přehřátí opracované čočky např.: fénem. Z hlediska zákazníků bývá nejčastější chybou ponechání brýlí za sklem automobilu na černém podkladu, kde při přímém slunečním světle v letních měsících roku teplota snadno vystoupá nad 100°C“.[27]



Obrázek 7-3: Popraskání antireflexní vrstvy vlivem přehřátí[27]

7.3 Poškození způsobená nečistotami

Poškození způsobená nečistotami mohou být např. zbytky zaschlých vodních kapek.

Pokud není čočka s antireflexní vrstvou pokryta hydrofobní vrstvou, zůstane i po šetrném očištění povrchu okraj kapky patrný. Zbytkové znečištění můžeme nejlépe odstranit opatrně v ultrazvukové lázni, neboť mechanické otírání by mohlo vést k nevratnému poškození vrstev.

Jestliže na povrchu čoček zaschne tvrdá vodovodní voda, vytvoří se pevně ulpělá vrstvička vodovodního kamene. Ta obsahuje ostré krystalky uhličitanu vápenatého. Při nešetrném odstranění (otřením za sucha) může snadno povrch čočky poškodit.

Na obrázku č. 7-4 můžeme pozorovat zaschlou dešťovou kapku, která může obsahovat ostrá zrnka prachu.[27]



Obrázek 7-4: zaschlá dešťová kapka vody[27]

8 Experimentální práce

Cílem experimentální práce bylo čočky vystavit prudkým vlivům teplot a zároveň vyhodnocení získaných výsledků.

Abych mohla začít s pokusy, musela jsem si najít různé druhy plastových čoček s odlišným indexem lomu a s příslušnými vrstvami. Při tomto pokusu jsem zjišťovala, jestli se vrstvy na plastové čočce zdeformují za různých teplot.

8.1 Postup při teplotě -11°C

Při tomto pokusu jsem použila mrazící zařízení, do kterého jsem dala teploměr, který naměřil hodnotu teploty -11°C . Čočky jsem na 30 minut vložila do mrazícího zařízení. Po uplynutí doby jsem čočky vyndala a nechala je ohřát na pokojovou teplotu (cca $+23^{\circ}\text{C}$). Potom jsem je zkontrolovala.

Abych mohla vrstvu na čočkách zkontrolovat, použila jsem štěrbinovou lampu a světlo na štěrbinové lampě jsem natočila pod určitým úhlem. Stejně jsem postupovala u všech čoček.

Při kontrole čoček jsem nezjistila žádné změny na vrstvách. Tento pokus jsem zopakovala 3x. Při každém zopakování, byly čočky zkontrolovány. Ani v jednom případě nedošlo k žádným změnám vrstev na čočkách.

8.2 Postup při teplotě $+85^{\circ}\text{C}$

Připravila jsem si menší nádobu a teploměr. Studenou vodu jsem dala do varné konvice a konvici zapnula. Do nádoby jsem nalila horkou vodu o teplotě cca $+85^{\circ}\text{C}$ a do ní jsem dala plastovou čočku s určitým indexem lomu a s určitou vrstvou. Pak jsem čočku osušila a zkontrolovala na štěrbinové lampě. Stejně jsem postupovala u všech čoček. Po zkontrolování jsem neviděla žádnou změnu. Tento pokus jsem zopakovala 3x a vrstvy na čočkách byly beze změny.

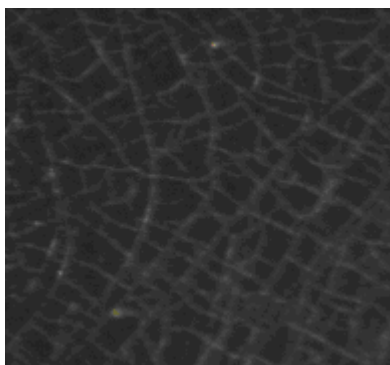
8.3 Vliv změn teplot na vrstvy čoček

Při tomto pokusu jsem postupovala obdobně jako u předchozích pokusů, s tím rozdílem, že jsem nejprve vložila čočky na 30 minut do mrazícího zařízení. Pak jsem dala vodu do varné konvice, kterou jsem zapnula. Rychle jsem vyndala čočky z mrazícího zařízení (kde je -11°C) a okamžitě je vložila do misky a zalila horkou vodou ($+85^{\circ}\text{C}$). Plastové čočky

se začaly rozpínat, jejich objem se zvětšil mnohem více než objem materiálu, který tvořil antireflexní vrstvu. Při ohřátí nad určitou mez došlo vlivem různé tepelné roztažnosti (závislé na konkrétním materiálu čočky a vrstvy) u některých čoček k potrhání antireflexní vrstvy.

Plastovou čočku jsem osušila a pozorovala jsem změny antireflexní vrstvy. Výsledek jsem vyfotografovala.

Abych mohla vyfotit, co se stalo s vrstvou na čočce, použila jsme štěrbínovou lampu a světlo na štěrbínové lampě jsem natočila pod určitý úhel.



Obrázek 8-1: Potrhaná vrstva na čočce (index lomu $n=1,502$)

8.4 Zátěžové teplotní podmínky

Při tomto pokusu jsem zjišťovala, jak dlouho vydrží vrstvy na čočkách. K tomuto účelu jsem použila fén a studenou vodu, kterou jsem nalila do nádoby. Čočku jsem nahřívala nad fénem 2 minuty, potom jsem ji rychle ochladila studenou vodou. Zkontrolovala pod štěrbínovou lampou a výsledek jsem vyfotografovala. Stejně jsem postupovala u všech ostatních čoček.

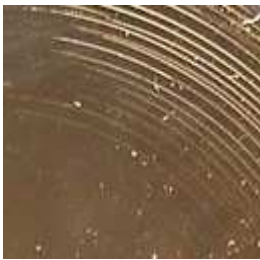
Po zkontrolování jsem zjistila, že čočky s indexem lomu $n=1,502$ nevydržely. Vrstva se začala trhat, ze začátku pouze na okrajích a postupem času též na středu. Čočky s indexem lomu $n=1,591$ zůstaly bez porušení. Zkusila jsem je tedy znovu nahřát nad fénem a to po dobu 5ti minut a rychle je zchladila. Vrstva se začala trhat na okrajích, ale střed čočky zůstal stejný.



a) horší vrstva na čočce



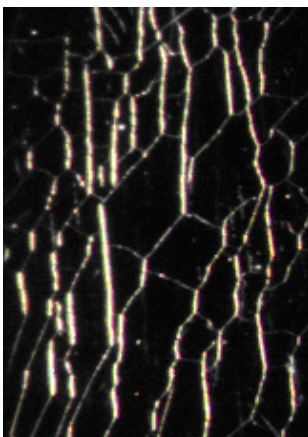
b) lepší vrstva na čočce



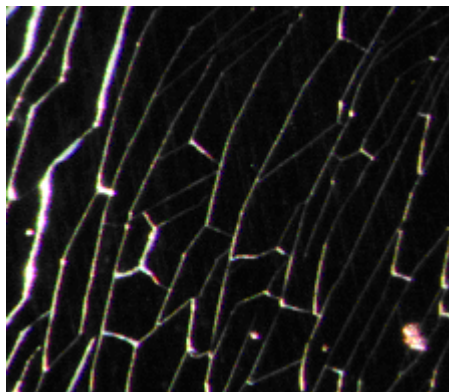
c) nejlepší vrstva na čočce

Obrázek 8-2: Čočky s indexem lomu $n=1,502$

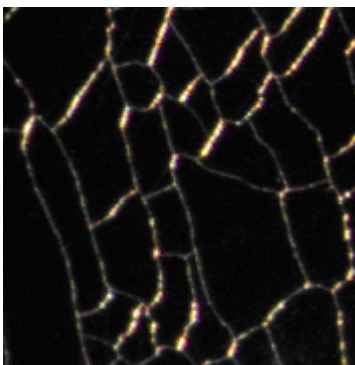
Na vrstvách můžeme pozorovat soustředné kruhy společně s příčnými prasklinami.



a) horší vrstva na čočce



b) lepší vrstva na čočce



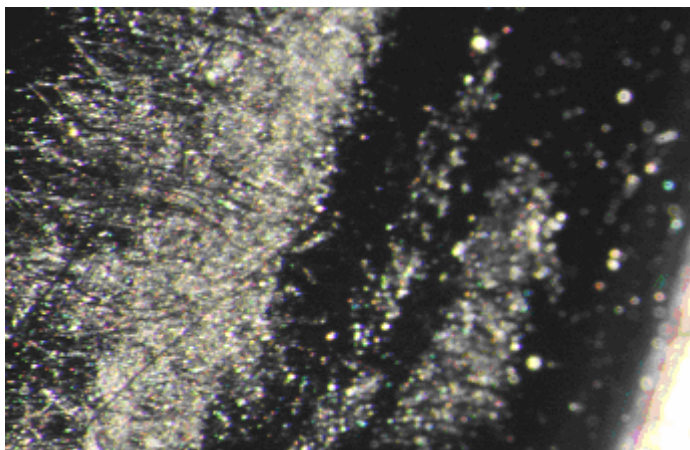
c) nejlepší vrstva na čočce

Obrázek 8-3: Čočky s indexem lomu $n=1,591$

8.5 Mechanické zatížení

Při tomto pokusu jsem sledovala, co se stane s vrstvou při mechanickém zatížení. Nejprve jsem si přebrousila čočky na menší průměr, protože by to mohlo ovlivnit pokus.

Na obrázku č. 8-4 můžeme vidět nenanesenou vrstvu na čočce, protože při napařování se vrstva nedostane na okraj čočky.

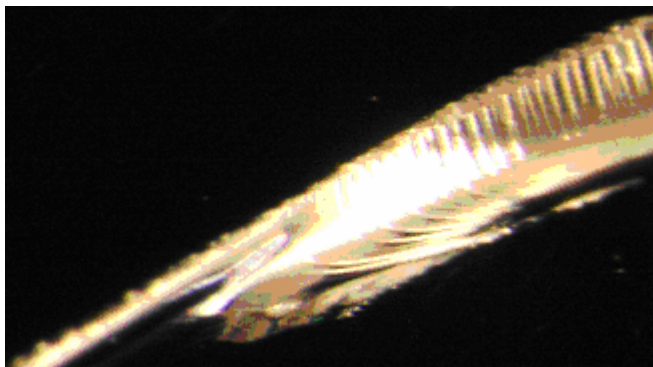


Obrázek 8-4: Nenanesená vrstva na okraji čočky

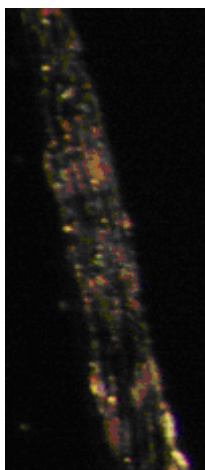
K tomuto pokusu jsem použila svěrák. Čočku jsem vložila do svěráku a působila jsem na ni velkým tlakem. Plastová čočka se začala ve svěráku ohýbat. Při ohybu to vypadalo, že vrstva na čočce se deformuje. Vyndala jsem čočku a zkontrolovala jsem ji na šterbinové lampě. Po zkontrolování jsem zjistila, že vrstva byla v pořádku.

Čočku jsem dala znovu do svěráku a působila jsem ještě větším tlakem než předtím. Při velkém tlaku se na okraji čočky objevila prasklina (viz obrázek č. 8-5). Čočku jsem vyndala a zkontrolovala vrstvy pomocí šterbinové lampy. Po zkontrolování, vrstvy byly v pořádku, protože tenké vrstvy napaňují za vysoké teploty a jejich adheze k povrchu je dobrá a mimořádně stabilní. Stejně jsem postupovala u všech čoček.

U čoček s vyšším indexem lomu ($n=1,591$) zůstaly vrstvy nepoškozeny, ale při velkém tlaku se okraj čočky zdeformoval (viz obrázek č. 8-6).



Obrázek 8-5: Prasknutí čočky (index lomu $n=1,502$)

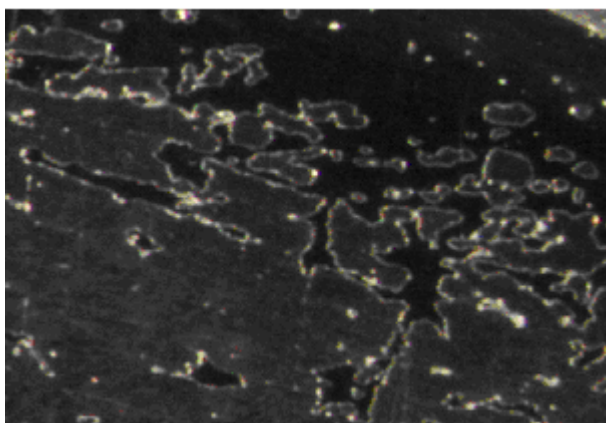


Obrázek 8-6: Zdeformování okraje čočky (index lomu $n=1,591$)

9 Reálný stav použitých brýlí

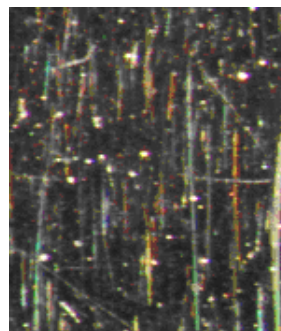
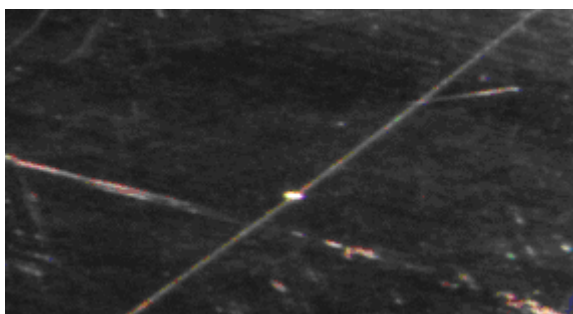
Potvrdilo se, že při sledování používaných brýlí dochází k poškození povrchové úpravy čoček (např.: antireflexní vrstva). Dochází k tomu zejména při stálém a delším nošení, protože si neuvědomujeme, že by působení teplotních vlivů mohlo poškodit čočky.

Na obrázku č. 9-1 můžeme pozorovat loupání antireflexní vrstvy. Tyto brýle, ve kterých jsou zabroušeny plastové čočky s antireflexní vrstvou, jsou používány stále, přibližně 2,5 roku s indexem lomu $n=1,67$.



Obrázek 9-1: Loupání antireflexní vrstvy

Na obrázku č. 9-2 můžeme pozorovat poškrábání plastové čočky, které způsobíme nevhodným zacházením a čištěním brýlí. Tyto brýle jsou používány jenom občas, přibližně 2 roky s indexem lomu $n=1,5$.



Obrázek 9-2: Poškrábání plastové čočky

Závěr

Bakalářská práce se týká, jak z názvu vyplývá, Povrchové vrstvy brýlových čoček a jejich degradace.

První kapitola je velmi teoretická, snaží se vysvětlit základní charakteristiky brýlových čoček. Další část práce popisuje výrobu a druhy minerálních a plastových materiálů. Následující část popisuje nanášení povrchových úprav brýlových čoček a jejich vady způsobené nesprávným používáním respektive zpracováním.

Nejvíce času mi zabrala příprava samotných pokusů. V jednom případě mně výsledek velmi překvapil, konkrétně se jednalo o pokus při teplotě +85°C. Očekávala jsem, že se vrstvy na čočce při tak velké teplotě buď potrhají, nebo přinejmenším mechanicky poškodí. Avšak k mému údivu ani k jednomu z případů nedošlo. Vše zůstalo bez jakékoli změny.

Mé předpoklady, že účinkem změny teplot při reálném používání brýlí dojde k poškození povrchové úpravy čoček (např.: antireflexní vrstva) se potvrdily. Zejména při stálém a zároveň delším nošení nebo v závislosti na šetrném zacházení a rovněž pravidelném ošetřování.

Díky veškerým výsledkům jsem si uvědomila, jaké negativní důsledky může přivodit nesprávné zacházení s čočkami např.: s antireflexní vrstvou zabroušenou do ohrub. To mě zároveň utvrdilo v přesvědčení, jak důležité je poučit zákazníka o jejich užívání a ošetřování.

Seznam literatury

- [1] FUKA, F. – HAVELKA, B. Optika atomová fyzika. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961, 844s.
- [2] ŠTRBA, A. Všeobecná fyzika 3 – optika. Nakladatelství technické literatury Praha, 1979. 360s. 63-551-79
- [3] JEXOŤÁ, S. Vybrané kapitoly z geometrické vlnové optiky. Česká oční optika 2005, ročník 46, číslo 2, str.35 – 36
- [4] www.zeiss.cz
- [5] KŘÍŽEK, M. Vlastnosti tenkých vrstev na čočkách z plastů. Česká oční optika 1998, ročník 39, číslo 1 str.25
- [6] BARTUŠKA, K – SVOBODA, S. Fyzika pro gymnázia, molekulová fyzika a termika. Praha: Prométheus, 1994. 256s. ISBN 80-85849-46-1
- [7] JANKOVIČ, J. – ŠŮLA, V. – GREGOR, M. Fyzika pro netechnické obory středních odborných škol. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984. 368s. SPN 95-00-23/1
- [8] HALLIDAY, D. - RESNICK, R. – WALKER,J. Fyzika část 2 Mechanika-Termodynamika. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2000. 576S. ISBN 80-214-1868-0
- [9] EMANUEL, S. – BARTÁK, F. – ŠIROKÁ, M. Fyzika pro technické obory středních odborných škol. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 456s. ISBN 80-04-24524-2
- [10] KEPRT, E. Základy technologie optické výroby I.část. Státní pedagogické nakladatelství,n.p. Praha. 1964. 156s. 17-419-64
- [11] NAJMAN, L. Historie, Plasty v oční optice, Tenké vrstvy na čočkách, Tvzení, Sklo. Výukové materiály pro SZŠ a VZŠ Merhautova, Brno
- [12] MAZUREK, A. Technologie přesné optiky. Státní nakladatelství technické literatury Praha. 1961. 76s.
- [13] LOŠŤÁK, Z – KROPAL, B. Materiály pro optickou výrobu pro SOU. Nakladatelství technické literatury. 1981. 30 – 38S. 04-817-81

- [14] NAJMAN, L. Plasty. Česká oční optika 2001, ročník 42, číslo 3, str. 18-19
- [15] ANTON, M., HOLUŠKOVÁ, M. Co je polycarbonat. Česká oční optika 1998, ročník 39, číslo 2/3, str. 49
- [16] NAJMAN, L. Plasty. Česká oční optika 2001, ročník 42, číslo 4, str. 16-17
- [17] www.moje-optika.cz
- [18] VRUBEL, P. Plastové brýlové čočky. Česká oční optika 1993, ročník 34, číslo 1 str.3
- [19] Ceník essiloru
- [20] www.bryle.cz
- [21] STRAKA, V. Ochrana základního materiálu plastových brýlových čoček tvrdým lakem. Česká oční optika 2003, ročník 44, číslo 1, str.22
- [22] www.achesa.cz
- [23] KLABAZŇA, J. – NUC, J. – KOPAL, B. Optika pro SOU. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984. 232s. SPN 04-832-84
- [24] BŘICHNÁČ, P. Plazmová technologie. http://aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
- [25] LIBRA, M. Naprašování tenkých vrstev ITO – tenké vrstvy pro elektrotechniku. www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25484
- [26] SYNEK, Jaromír. Hydrofobní úprava brýlových čoček. Česká oční optika 2003, ročník 44, číslo 2, str.14
- [27] Vady a poškození povrchových úprav brýlových čoček. Materiály od firmy RODENSTOCK
- [28] SYNEK, Jaromír. Vady a poškození povrchových vrstev brýlových čoček. Česká oční optika 2003, ročník 44, číslo 3, str.15

Seznam tabulek

Tabulka 4-1: Srovnání materiálu na výrobu čoček[15].....	17
Tabulka 5-1: Nejčastější používané kovové a dielektrické napařovací materiály[23].....	24

Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Index lomu a abbeovo číslo[4]	7
Obrázek 1-2: Rozklad bílého světla na jednotlivé barvy[4]	8
Obrázek 5-1: Jednotlivé vrstvy na čočce[19]	18
Obrázek 5-2: Lakování čoček[4]	20
Obrázek 5-3: Lakování čoček[21]	20
Obrázek 5-4: Držák čoček (kalota)	21
Obrázek 5-5: Schéma vakuové napařovací aparatury[23]	22
Obrázek 5-6: Schéma elektronového děla[29]	23
Obrázek 5-7: Rozdíl bez a se silikonovým lakem[26]	25
Obrázek 6-1: Zrnko prachu v lakové vrstvě[28]	27
Obrázek 6-2: Oloupání lakové vrstvy[28]	28
Obrázek 6-3: Zaschlá mikroskopická kapka slin[27]	28
Obrázek 6-4: Loupání antireflexní vrstvy[28]	29
Obrázek 6-5: Vada způsobena prachovým vláknem ulpěným na povrchu čočky[28]	29
Obrázek 7-1: Škrábance způsobené částicemi nečistot[27]	30
Obrázek 7-2: Při vyčištění brýlí nebo znečištěná přísavka při obrušování[27]	31
Obrázek 7-3: Popraskání antireflexní vrstvy vlivem přehřátí[27]	31
Obrázek 7-4: zaschlá dešťová kapka vody[27]	32
Obrázek 8-1: Potrhaná vrstva na čočce (index lomu $n=1,502$)	34
Obrázek 8-2: Čočky s indexem lomu $n=1,502$	35
Obrázek 8-3: Čočky s indexem lomu $n=1,591$	35
Obrázek 8-4: Nenanesená vrstva na okraji čočky	36
Obrázek 8-5: Prasknutí čočky (index lomu $n=1,502$)	36
Obrázek 8-6: Zdeformování okraje čočky (index lomu $n=1,591$)	37
Obrázek 9-1: Loupání antireflexní vrstvy	38
Obrázek 9-2: Poškrábání plastové čočky	38