

學藝工藝玻璃

光學零件之特殊加工

А. Н. БАРДИН 著

毛汪王盧 翼品天壽 乎予運枏 譯校

中國人民解放軍軍事工程學院

一九五五年四月

前 言

光學儀器製造是最有意味的技術部門之一。現代光學儀器的製造是以各種科學領域內（理論光學，應用光學，光學玻璃工藝學，精密機械學及電工學）複雜的綜合知識作為基礎的。光學儀器就構造和用途來說極其繁多，並且差不多在所有的工業部門中都有應用。

由於黨和政府經常的關懷，光學學者卓越的研究，以及工人、技術員和工程師們忘我的勞動，在偉大的十月社會主義革命後所組織起來的蘇聯光學生產現在已經取得了巨大的成就，並且滿足了國民經濟對它的要求。

蘇聯關於光學生產的書籍是很豐富的，並且在應用光學領域內已得到了最大的發展。蘇聯科學院通訊院士杜得洛夫斯基（А. И. Тудоровский）技術科學博士斯留沙來夫（Г. Г. Слюсарев）教授及技術科學博士費非洛夫（Б. В. Фефилов）教授的巨大經典著作獲得了廣泛的聲譽，並且是研究應用光學課程時所不可缺少的書籍。

技術科學博士里斯諾夫（М. М. Русинов）教授，技術科學博士朱里洛夫斯基（В. Н. Чуриловский）教授及技術科學博士伏洛索夫（Д. С. Волосов）教授在這方面的研究工作也同樣是非常可貴的。蘇聯科學院通訊院士卡恰洛夫（Н. Н. Качалов），科學院院士格來別先可夫（И. В. Гребенщиков）及蘇聯科學院通訊院士馬克蘇多夫（Д. Д. Максудов）所著的關於光學玻璃製造和加工的各種問題的作品，對於光學製造的發展具有重大的意義。技術科學博士布爾米士特羅夫（Ф. Л. Бурмистров）教

授所著的關於製造光學儀器準確刻度和分劃之特種技術過程的書籍是光學生產著作中的寶貴貢獻。

蘇聯學者的著作包含着極其豐富的材料，並且是各個光學製造問題的專門文獻。這些書籍早已被賣光了，因此研究光學製造的學員實際上就失去了參考書。特別是關於「光學玻璃工藝學」及「光學儀器裝配」課程的書籍，情況更壞。

「光學玻璃工藝學」是一門複雜的課程，因為它所包括的問題，範圍極廣，如玻璃的性質和製造，玻璃的製造法及切割法，製造光學零件時玻璃的磨研加工過程及光學零件的特種加工過程。

由於缺乏該門課程教學大綱中所規定的教科書及有系統的參考書，因此，學員就祇得使用許許多多各方面的資料，這樣就大大影響了它們的學習，因為上面已經說過，大部份必須的書籍都是圖書館裏少有的。

本書旨在供學員研究光學玻璃工藝學課程的專門部分之用——改變反射面對光的反射係數，製造刻度和分劃及黏合現成光學零件的方法。其他蘇聯出版的書籍中，是沒有這樣內容的。在某幾章的題材上相似的翻譯書籍史屈朗的「物理實驗室應用技術」（陸學善，王守璫譯，商務印書館出版——譯者）作為參考書來說過於繁瑣，並且僅僅是根據外國資料的材料寫成的。

本書供研究光學儀器製造的高等學校的學員使用；同時，對於中等技術學校和技工學校的學員，以及工廠車間和實驗室的工程師和技術人員也是有幫助的。

作者謹向奧斯特路莫夫（Б. А. Остроумов）教授，沙爾金（И. Г. Саркин）教授，技術科學碩士薩爾改夫（Л. В. Сергеев）及工程師加夫里洛夫（Н. А. Гаврилов），伯克洛夫斯基（В. Н. Покровский）致以深切的謝意，他們的批評大大地幫助作者提高了本書的質量。

作 者

引 言

儀器的光具組是由光學零件（透鏡，稜鏡，楔鏡和平面平行玻璃片）所組成的，光學零件用透明的材料——不同品種的玻璃製成，有時則用品體製成。

在製造光學零件的過程中，零件的毛坯需要進行各種加工——一切削，鋸開，銑切，研磨，拋光。經過這些加工後，就得到了所須要的形狀，大小和一定品質的表面。改變毛坯的形狀，大小和表面品質的工序稱為基本工序。但是，光學零件製造工序還不限於這些，許多零件需要經過特種加工的工序，這些工序不是改變拋光面的形狀和大小，主要是改變它們的性質。

這些工序有下列幾種：降低拋光面對光的反射係數（透光化），提高拋光面對光的反射係數（鍍上鏡面），用膠合法和分子內聚力（光學接觸法）結合拋光面，以及在光學零件的表面上刻製刻度和分劃。

欲改變零件表面對光的反射係數，可在零件表面上鍍上一層或若干層不同厚度和不同物理性質的薄膜。在結合現成零件的過程中，膠合層的性質和厚度，零件表面的形狀和大小，以及它們的特種準備（特別是用光學接觸法結合時）起着主要的作用。

刻度和分劃可以利用各種各樣的方法；從利用刀子彫刻分劃的機械作用到複雜的刻度製造過程，例如，利用攝影腐蝕法。

特種過程的工藝本質上不同於光學零件基本加工過程的工藝。特種加工過程是利用特別的設備，在單獨的光學車間內（有時亦在室外）完成的。

特種加工所製成的質量在很大的程度上有賴於加工零件表面

的光潔程度如何。光學零件表面的淨化可以用認真洗滌的方法達到，淨化與洗滌原料的種類和洗滌的方法有關。所以本書介紹了光學零件洗滌工藝的必要知識。

此外，還提供了某些特種加工過程以後擦拭光學零件的簡單知識。

目 錄

前言.....	1
引言.....	3
第一章 光學零件不用邊框的結合	
第一節 光學零件結合法概述.....	11
1. 零件結合的作用及種類	
2. 對零件結合品質的基本要求	
第二節 用膠合法結合光學零件.....	12
1. 對膠合層的要求	
2. 膠合材料	
樹膠	
化合樹膠	
3. 樹膠膠合法	
4. 化合樹膠膠合法	
5. 其它膠質的膠合法	
6. 脫膠——膠合層中的毛病	
7. 膠合的檢驗	
第三節 用光學接觸法結合零件.....	31
第二章 透光膜，鏡膜及部份反射膜的鍍法	
I. 概述.....	33
第四節 用膜層改變光的反射係數的方法之作用及分類.....	33
第五節 利用干涉膜改變光對零件表面的反射係數.....	37
第六節 膜層的材料及其在玻璃上的鍍法.....	40
1. 膜層材料	
2. 在玻璃上鍍膜層的方法	

第七節 檢查膜層品質的方法	44
I. 鍍膜層的化學法	47
第八節 透光膜的鍍法	47
1. 概述	
2. 利用單膜層透光	
將玻璃腐蝕以形成二氧化矽膜層的方法	
將四乙基矽酸脂水解以製成二氧化矽膜層的方法	
用單膜層的化學透光法之特性	
3. 利用二種膜層透光 (雙膜層透光)	
第九節 鏡膜及部份反射膜的鍍銀	54
1. 概述	
2. 鍍銀的技術程序	
零件表面在鍍銀前的準備	
鍍銀溶液的成份及其配製	
金屬銀的還原過程	
金屬銀及半透明鍍銀的特點	
影響鍍銀過程的基本因素	
鏡層的保護膜	
對鍍銀品質的要求	
3. 化學鍍銀法的特性	
II. 物理法鍍膜層	66
第十節 概述	66
第十一節 蒸發法	67
1. 蒸發過程概要	
2. 影響蒸發過程的因素	
3. 計算被蒸發物質凝結的意	
4. 蒸發法的特性	
第十二節 金屬的陰極噴鍍法	76
1. 噴鍍過程概要	
2. 影響噴鍍過程的因素	
3. 噴鍍法的特性	

第十三節 鍍膜層的真空裝置.....84

1. 真空裝置概述
2. 真空裝置的基本機件
 - 真空罩和真空罩內的配件
 - 真空油機

第十四節 用蒸發法和噴鍍法鍍膜的技術程序.....94

第三章 刻度與分割的製造

I. 關於刻度與分割的概述.....99

第十五節 用途與分類.....99

第十六節 刻度和分割的製造方法.....102

第十七節 對分割的基本要求.....106

II. 用分度法製造分割.....108

第十八節 用切刻法在玻璃上製成分割.....108

✓金剛石刻刀

✓切削用量

第十九節 用彫刻法在玻璃底鍍層上刻製分割.....110

1. 彫刻的種類
2. 刻製耐酸膏以便用腐蝕法做出玻璃上的分割
 - ✓保護層
 - ✓彫刻刀
3. 漆膜上分割的刻製
4. 金屬膜上分割的刻製
 - ✓鍍金屬膜
 - ✓刻刀及其在刻製時所受的負荷
5. 在非晶形的吸附銀膜上刻製分割
 - ✓鍍銀膜
 - ✓刻製過程

第二十節 用刻刀刻分割的機器.....117

1. 機器的分類及特性
2. 複製機及分度機之結構

複製機

✓分度機

3. ✓複製機和分度機的標準部件與機構

✓固定和移動刻刀的裝置

✓固定和移動坯體之裝置

第二十一節 在複製機和分度機上的工作…………… 128

1. ✓刻刀的裝置與定心

2. ✓坯件的放置與定心

3. ✓機構和部件的檢查

4. ✓各種因素對複製機和分度機工作精度的影響

III. 利用腐蝕法將分割製於玻璃上或其金屬薄層上

第二十二節 概述…………… 132

第二十三節 ✓腐蝕時玻璃上的保護塗層…………… 132

第二十四節 ✓製造分割時玻璃腐蝕之施工過程…………… 133

1. ✓對腐蝕施工過程之要求

2. ✓腐蝕過程的說明

3. ✓腐蝕分割之過程

第二十五節 腐蝕玻璃上的金屬膜層…………… 137

第二十六節 ✓分割刻線之填充…………… 138

IV. 用攝影法製造分割…………… 139

第二十七節 概述…………… 139

1. ✓用攝影法製造分割之要意

2. 對分割原圖形之要求

3. 對照像機的要求

4. 對照像膜之要求

第二十八節 製造分割時之攝影過程…………… 146

1. 濕膠棉的過程

2. 銻鹽照像膜之應用

3. 攝影陶製分割

4. 用攝影腐蝕法製造分割

5. 用矽酸銀吸附膜層攝影

第二十九節 用機械攝影法製造刻度..... 155

第三十節 攝影複製法..... 157

第四章 光學零件的洗滌及淨化

第三十一節 概述..... 158

第三十二節 洗滌材料..... 159

1. 水溶液

2. 有機溶液

3. 溶劑之再生

第三十三節 擦淨材料..... 162

第三十四節 洗滌之施工程序..... 164

第三十五節 淨化施工程序..... 165

1. 製成的刻度及分割的淨化

2. 淨化其它光學零件

參考書

中俄名詞對照表

第一章

光學零件不用邊框的結合

第一節 光學零件結合法概述

1. 零件結合的作用及種類

在儀器中光具組很少採用單獨的透鏡；它們通常作為收光透鏡，目鏡的接眼透鏡及倍率不大的放大鏡。為了保證光具組所成的像具有相當好的品質，物鏡，轉像光具組，目鏡，大倍率放大鏡及光具組的其他零件都是由二個，有時則用三個固定在一起的不同品種玻璃所製的透鏡所組成的。在複合光具組中稜鏡和楔鏡也是結合起來的。

單獨零件可用三種方法裝配在複合零件上：即在零件之間帶有空隙的有框架固定法（圖1,a），膠合法（圖1,б）及光學接觸法（圖1,в），光學接觸法是以表面的分子內聚力作為根據的。

第一種方法有着極大的缺點：零件間空隙的存在引起光線作二次附加的折射，因而就使光的反射損耗增大。

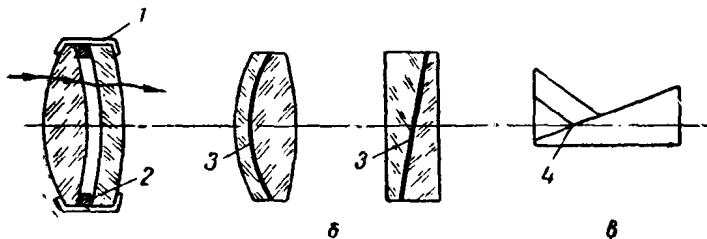


圖1 光學零件各種結合法圖

1. 框架；2. 空隙圈；3. 膠層；4. 接觸平面。

利用膠合法及光學接觸法固定時，零件祇能用拋光面結合起來；拋光面可以是平面，也可以是球面。球面的曲率半徑應相同。但符號相反（凸面和凹面）。

光學零件的結合是一個極其重要的過程，這個過程已為蘇維埃專家庫爾吉次（Л. Ю. Куртец），薩爾改夫（Л. В. Сергеев），普希南（Н. П. Пушкин）及格拉姆（О. С. Грамм）等人全面地規劃出了。

2. 對零件結合品質的基本要求

首先結合法不能對零件的光學特性產生不良的影響；不允許增多光的損耗和使像的品質變壞。零件結合好以後，也不應該使表面變形。必須保證零件的結合有足夠的機械強度；保證對溫度，濕氣及有機溶劑（汽油，酒精，醚）影響的穩定性。

此外，結合法必須有可能比較容易地拆開那些結合得不正確的零件。

在零件結合過程的各個階段上，必須保持最大限度的光潔。所以完成結合過程的房間必須寬敞明亮；通風裝置必須要有防塵埃的可靠過濾器；天花板，牆壁，桌子等等都要上油漆，地板要蓋上漆布。

每一工作班，至少應將地板和設備用濕布擦拭二次。

從事零件結合工作的全體人員在工作時最好穿上白色外衣和專門的鞋子。

第二節 用膠合法結合光學零件

1. 對膠合層的要求

零件膠合時，應在它們的膠合面中間塗一層膠質。為了使光具組的光學特性不致變壞起見，膠必須具有最大的透明度，高度的光學均勻性，並且折射率應接近於被膠合玻璃的折射率（1.45—1.65）；膠必須清潔無色。此外還必須遵守上面所列舉的對所

結合的零件品質上的共同要求。

膠合品質 膠合品質的下列標誌具有最大的意義；

機械強度，膠層必須具有反抗機械作用的穩定性。

膠合層的機械強度不足時，零件在框架中的變形（當裝配時零件夾得不均勻時就會引起膠合層的變形），這樣就可招致光波波前的畸變而使像品變壞。

此外，如果在框架中零件固定得很粗糙，那麼膠合的機械強度的不足，就可產生脫膠（註一），脫膠就是膠合層破壞和膠合層與被膠合零件之表面相分離的現象。

耐寒性，膠合層忍受嚴寒（約為負 40° — 60° ）而不致產生明顯破壞的能力稱為膠合的耐寒性。

因為大多數膠合材料的膨脹係數大於玻璃的膨脹係數，所以耐寒性不足時，膠合層便破壞，而形成脫膠。

耐寒性的程度與膠合材料的特性，膠合層的厚度，被膠合零件的幾何形狀和大小，以及玻璃的品種有關。

將零件固定在機械框架中時，膠合耐寒性便減低，因為框架金屬的膨脹係數常常大於玻璃的膨脹係數，而在冷卻時在膠合層中就產生附加張力。

耐熱性，膠合耐熱性決定於在溫度達 $+40^{\circ}$ — 50° 時膠膜能防止被結合零件移動的能力。

耐熱性過低會招致零件的相對移動，使零件不復合軸，而使像的品質變壞。

耐熱性主要與膠合料軟化的溫度有關，並隨着膠層厚度的減小而增大。

被膠合零件的變形。當不均勻地凝固時（例如：在冷卻或聚合時），在膠合層中就產生一種張力，使膠合零件（特別是負彎月面透鏡）的外表面發生變形，並使像的品質變壞。這一點在選

〔註〕詳見第六段《脫膠》（第26頁）

擇膠合材料時是應該考慮到的。

2. 膠合材料

膠合玻璃材料製成的零件時，可採用自然的樅樹樹膠和經過合成而得的物質——化合樹膠。(бальзамин)

晶體(例如偏振稜鏡(用亞麻子油及某些其它物質膠合。

膠合玻璃和金屬時用化合樹膠及其改進品。

樹 膠

用樅樹油脂所製成的自然樹脂稱為樹膠(全蘇國家標準2290—43)。

從前，光學零件在所有國家中祇是用加拿大樹膠來膠合，加拿大樹膠用加拿大樅樹的油脂製成。蘇維埃學者研究出了一種用西伯利亞樅樹，高加索樅樹和遠東樅樹製造上等樹膠的方法，使蘇聯的光學工業擺脫了加拿大樹膠的入口。

樅樹油脂是一種帶黃色的透明的黏滯性液體，這種液體有苦味，並且有一種特別的氣味。它由松節油(20%—30%)和松香所組成。

樹膠是將含油樹脂經過專門的精煉後得到的。這種精煉依次包括下列工序：在醚中溶解，用水洗滌，乾燥，過濾及烤乾。

按外表面看來，樹膠是一種淡黃色的透明物質。

樹膠基本特性見表1。

樹膠基本特性表

表 1

特性名稱	特性值	特性名稱	特性值
折射率 n_D (在20°時)	1.52—1.54	比重 $d_{4,0}$	1.00÷1.05
平均色散 $(n_f - n_c)$	0.0126	線膨脹係數。 在-45至0°範圍內 在0至+25°範圍內 在+25至150°範圍內	0.5·10 ⁻⁴ 1.5·10 ⁻⁴ 2.3·10 ⁻⁴

樹膠具有非常可貴的特性，光學均勻性很高，能在長時期內保持透明性，即不致結晶。樹膠的折射率與玻璃是相接近的，在乾燥時，它的體積改變很少。樹膠使我們排除在膠合過程中所產生的變形，並在膠合不好時，能夠很容易地將零件折開。

樹膠的基本缺點就是機械強度不高，耐寒性不夠，在光譜的紫外線部份中透明度降低，在普通厚度的膠合層時光（自 $\lambda = 3200 \text{ \AA}$ 起）的吸收很顯著。樹膠的膨脹係數比玻璃要大 7—30 倍，因而就常常會引起脫膠。

樹膠的特性。樹膠的黏度與含油脂烤乾程度有關，並可以用穿透數來表示。根據穿透數的大小，樹膠可以分為穿透數很小的（10 以下）的極硬樹膠（B.T）；穿透數為 11—30 的硬樹膠（T）；穿透數為 31—60 的欠硬樹膠（C）；穿透數為 61—120 的軟樹膠（M）¹ 及穿透數很大的（自 191 至 300）極軟樹膠（BM）。

欲提高可塑性及耐寒性，在樹膠中可以加放塑性劑——各種油（亞麻子油，凡士林油，桐油及胡桃油）。 $n_D = 1.428 \div 1.485$ 及 $d_{40} = 0.929 \div 0.932$ 的亞麻子油是樹膠的最好塑性劑，它在原料油淨化和漂白後使用。

塑性劑的份量是與它的品質，所需要的樹膠硬度及樹膠中的松節油含量有關；在 100 克含油樹脂中，塑性劑可佔 4—12 克。在膠合時最常採用的是軟樹膠。

樹膠不應含有不潔的微塵，根據 5 厘米³ 中的允許塵粒的數目，樹膠可以分為三等：I 等（不超過五粒微塵），II 等（不超過 10 粒微塵），III 等（不超過 20 粒微塵）。

樹膠上註有品種的號碼，穿透數及等級（根據微塵的粒數；在提高了塑性的品種上還有腳註 « π »）。樹膠應儲藏於容積為 15 微升的乾燥而清潔的玻璃試管中。

樹膠的提煉。含油樹脂的準備。應除去含油樹脂的水溶性酸和各種雜質。欲除去水溶性酸，可將含油樹脂放在水中洗滌，而欲除去雜質，可用濾紙或玻璃過濾器進行過濾，為了減小過濾時

的粘度並促進用水洗滌的可能性，可將含油樹脂溶於乙醚中。樹脂的醚溶液應用水沖洗幾次，並爲了加速過濾過程起見，用無水硫酸銅或硫酸鈉將它乾燥。在最後的過濾以前，在溶液中加入些塑性劑。

樹膠的熬煮，提煉一定粘度樹膠的過程就是依次蒸餾溶劑（醚）及松節油——含油樹脂的揮發部份。蒸餾分兩個階段進行：首先蒸餾醚，然後蒸餾松節油。

圖2是樹膠熬煮裝置圖。將被熬煮的含油樹脂盛於燒瓶1中，燒瓶有一個供被蒸餾出來的醚和松節油的出口及一個供提取現成樹膠的燒杯口。出口和燒杯口蓋有兩個毛玻璃瓶塞。含油樹脂是放在石蠟槽（2）中用一塊小電熱板（3）來熱的。

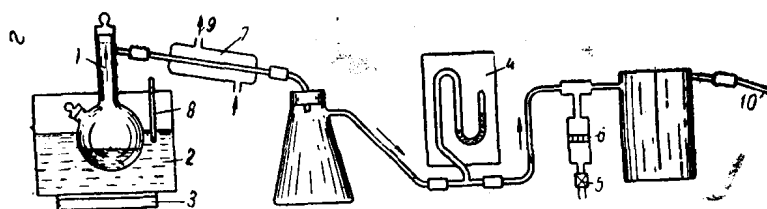


圖2 樹膠熬煮裝置

- | | | |
|--------------------|---------|---------|
| 1. 燒杯； | 2. 石蠟槽； | 3. 電熱板； |
| 4. 流體壓力計； | 5. 開關； | 6. 過濾器； |
| 7. 冷却器； | 8. 溫度計； | 9. 冷却器中 |
| 水的運動方向； 10. 通抽機管子。 | | |

流體壓力計4指示油抽機所產生的低壓狀態。開關5供熬煮過程中調整壓力之用，玻璃過濾器6用以保護樹膠，防止在開關打開時塵埃與空氣一起吸入。

醚在1—3小時內及60°—80°的溫度下（使用水噴注抽機時）可被蒸餾掉，松節油在1—6小時內，170°溫度下及油抽機所產生的低壓爲2—15毫米水銀柱時可被蒸餾掉。

根據所須要的樹膠粘度，加熱的溫度和真空程度，熬煮一次