

前 言

解放以来,我們出版了許多光学仪器方面的书籍,但是,有关玻璃工艺学方面的資料却还是感到缺乏,尤其关于光学玻璃冷加工工艺方面的专门著作,国内尚未出版过。本书以較通俗浅显的文字,向讀者介紹关于光学玻璃冷加工工艺——制造光学零件的各种知識,对于生产过程中的实际生产知識,本书作了較多的介紹,而对于工艺方面的理論知識,也同样有一定篇幅,这样对理論和实际都有所兼顧。同时,对于某些世界先进工艺,也作了一些介紹。

本书是在边讲边写的教学过程中完成的,由于時間的匆促,写成后未經仔細修改就印成讲义,事后由于忙于其他献礼任务,一直未曾加以修改,再加上編者学識和經驗有限,缺点与錯誤之处一定难免,敬希光学界的前輩、同行和讀者們多多予以指导和糾正。在本书的編写过程中,曾引用了浙江大学光仪教研組的玻工学讲义和上海光学仪器厂的技术成果汇编中的資料,特在此致以深切的謝意!在本书的編写过程中,薛剑平同志也曾予以协助,特此一并致謝!

編 者 1959年9月于北京

目 录

前 言.....	i
第一章 緒論	1
第二章 制造光学零件用的材料和輔料	3
一、玻璃	3
1. 玻璃的制造	3
2. 光学玻璃的技术条件	7
3. 顏色玻璃和技术玻璃	10
二、磨料和抛光粉	12
1. 对磨料的一般要求	13
2. 磨料的种类	13
3. 磨料的分級标准和分級方法	15
4. 磨料的檢驗	20
5. 磨料的回用	22
6. 抛光粉	23
三、粘結剂、抛光胶、溶剂、漆、擦拭材料	28
1. 瀝青	28
2. 蜡——石蜡、蜂蜡	35
3. 混合胶	37
4. 石膏	40
5. 松香	40
6. 漆	40
7. 溶剂	41
8. 溶剂的再生	42
9. 擦拭材料	43
四、抛光胶	45
第三章 制造光学零件的机床设备	47
一、鋸玻璃机	47

1. 鋸玻璃机的用途.....	47
2. 鋸玻璃机的主要运动略图.....	47
3. 鋸玻璃机的結構和使用.....	48
4. 鋸片.....	49
5. 玻璃的送进.....	50
6. 鋸玻璃机的生产率和鋸片磨損.....	52
7. 砂輪切割.....	52
二、粗磨机	52
1. 粗磨机的用途.....	52
2. 粗磨机的运动略图.....	52
3. 粗磨机的結構和使用.....	53
三、細磨抛光机	54
1. 細磨抛光机的用途.....	54
2. 細磨抛光机上部运动略图.....	54
3. 細磨抛光机床的結構和使用.....	55
四、脚踏机	57
1. 脚踏机的用途.....	57
2. 脚踏机的运动略图.....	57
3. 脚踏机的結構和使用.....	58
五、磨边机	59
1. 磨边机的用途.....	59
2. 磨边机的运动略图.....	59
3. 磨边机的使用.....	60
六、专用机床	61
第四章 工具和夹具	64
一、平面研磨工具和夹具	64
1. 圓形平模上圓形零件的粘結数計算.....	64
2. 平模的結構.....	71
二、球面研磨工具和夹具	71
1. 計算零件在球模上的排列.....	71
2. 胶模的計算.....	78
3. 磨盘的設計.....	86
4. 抛光模的計算.....	99

5. 球模的結構	103
三、制造模具用的材料	103
四、其他工具和夹具	105
第五章 常用量具和仪器	108
一、鋼皮尺	108
二、卡鉗	109
三、游标卡尺	110
1. 用途与构造簡述	110
2. 公制 1/10 毫米游标卡尺的刻綫原理与讀法	111
3. 公制 1/50 毫米游标卡尺的刻綫原理与讀法	112
4. 卡尺的使用与保养	113
四、游标深度尺	113
1. 用途与构造簡述	113
2. 公制 1/10 毫米精度游标深度尺刻度原理与讀法	114
3. 游标深度尺的使用与保养	114
五、分厘卡(千分尺)	115
1. 分厘卡的构造	115
2. 公制 1/100 毫米分厘卡的刻綫原理与讀法	116
3. 分厘卡的使用与保养	117
六、百分表	117
1. 百分表的构造与 0.01 毫米精度的产生原理	118
2. 百分表使用时的注意事項	119
七、量角器	120
1. 固定角尺	120
2. 活动角尺	121
3. 游标量角器	122
八、比較測角仪	125
1. 比較測角仪的用途	125
2. 比較測角仪的測量原理和光学系統	125
3. 比較測角仪的使用	126
九、球徑計和球徑仪	128
1. 球徑計	128
2. 球徑仪	130

十、简单干涉仪	132
1. 干涉法简介	132
2. 光圈的识别	133
3. 光圈差数的计算	135
4. 简单干涉仪	138
第六章 研磨和抛光	139
一、研磨和抛光的理论基础	139
二、研磨与抛光的主要工艺因素对过程速度及表面质量的影响	142
1. 研磨的主要工艺因素对过程速度及表面质量的影响	142
2. 抛光的主要工艺因素对抛光过程的影响	148
三、研磨和抛光的主要工艺因素对镜盘、工具的磨损均匀性的影响	151
1. 表面各部分速度之差对磨损均匀性的影响	151
2. 压力对磨损均匀性的影响	155
3. 由于表面上磨料颗粒不均匀碎裂的影响	155
4. 工具尺寸的影响	156
5. 根据不均匀的磨损现象,在自动抛光机床上进行调整的一些方法和经验	156
第七章 制造光学零件的工艺	161
一、透镜制造图解	161
二、稜镜制造图解	161
三、零件的装置	161
1. 透镜的弹性装置法	161
2. 透镜的刚性装置法(或称硬胶法)	162
3. 稜镜的石膏盘装置方法	164
4. 稜镜金属夹模装置法	165
5. 光学接触法(光胶)	166
6. 平面平行玻璃的刚性装置法	167
7. 平面平行玻璃的弹性装置法	167
四、下料	168
1. 锯	168
2. 切	168

3. 划	169
五、磨圓	169
1. 用粗磨機和平盤滾圓	169
2. 利用套筒磨圓	170
3. 利用外圓加工機床磨圓	171
六、研磨	171
1. 透鏡的研磨	171
2. 稜鏡、分划鏡等平面研磨	174
3. 磨盤的修改	175
七、拋光	176
1. 透鏡的機器拋光	177
2. 稜鏡、分划鏡等平面機器拋光	177
3. 手拋光	180
4. 拋光模的處理	181
5. 快速拋光	182
八、製造過程中的檢驗制度	183
1. 尺寸檢驗	183
2. 角度檢驗	184
3. 尖塔差(稜向差)檢驗	184
4. 光潔度檢驗	186
九、透鏡的定中心與磨邊	186
1. 定中心磨邊的意義和它的加工裕量	186
2. 定中心接頭	187
3. 定中心的方法	188
4. 磨邊	191
5. 倒邊	192
十、某些非球面透鏡的製造	193
1. 柱面鏡	193
2. 拋物面鏡	194
3. 橢圓面鏡	197
十一、製造過程中的加工裕量	197
第八章 玻璃樣板的製造	199
一、玻璃樣板的類別和等級	199

二、球面玻璃样板的制造	199
1. 样板直径和高的确定	199
2. 半径大于 40 毫米的基本样板制造方法	200
3. 半径小于 40 毫米的基本样板的制造方法	203
三、平面样板的制造	205
附录	210
一、光学图紙常用符号	210
二、光学零件表面光洁度	212
三、光学零件的倒角	217
四、公制計量单位	220
主要参考文献	224

第一章 緒 論

随着祖国各方面的大跃进,显得在工业、农业、国防、科学研究、文教、卫生……等等各方面对光学仪器的需要愈来愈迫切了。因此,对光学仪器工作者,提出了新的艰巨的任务,要求制造出更多、更好、更新的光学仪器,来满足各方面大跃进的需要。

在旧中国腐败的反动统治年代里,我国的光学事业处于非常落后的状态,那时,国内光学仪器厂简直少得可怜,大多数都设备简陋,技术落后。即使在当时个别比较完善的光学厂,也由于受帝国主义(如德国)殖民经济的影响,故仅能生产少数几种仪器,并且还不能自己设计。其余的工厂,实际上仅可称为作坊。在光学玻璃的制造方面,旧中国简直就没有,完全依赖于国外的进口。

此外,从事光学仪器工作的人数,在当时亦非常之少,虽然也有少数几个人在进行光学仪器方面的研究工作,但由于缺乏支持,所以得不到应有的发展。国内有关光学仪器理论和光学仪器工艺的书籍很难找到,几乎近于零。

解放以后,由于党和政府的大力支持,我国的光学事业得到了空前的发展和繁荣,光学仪器工作者的队伍得到了迅速的增长和壮大,现在,在全国很多城市,都已有了光学工厂,我们已能制造出很多种类的光学仪器,并能自行设计。为了培养专门的技术人材,我们创办了不少有关本专业的高等院校,同时,我们还出版了很多研究和制造光学仪器的书籍。

光学仪器的制造是以各种科学知识——理论光学和应用光学,光学玻璃工艺学,精密机械学和电工学的综合理论为基础,在这里“光学玻璃工艺学”是一门极其复杂极其有趣的课程,因为它所包括的问题范围特别广泛。这些范围是:玻璃的特性及其制造;光学零件的加工过程和理论基础;光学零件的特种加工过程等。

光学玻璃工艺——光学玻璃的生产和光学零件的制造等水平的先进与否关系着整个光学仪器事业的发展,甚至可以这样说:关系着整个国家科学技术水平的发展;从这里,也可窥见整个“光学玻璃工艺学”的重要一斑了。

第二章 制造光学零件用的材料和輔料

一、玻 璃

1. 玻璃的制造

我們差不多每天都与玻璃接触，然而是不是每个同志都探究过：玻璃到底是什么呢？这恐怕就不一定十分清楚了，如果再进一步問：玻璃有多少类？那恐怕更难說清楚了。

現在，我們首先来搞清楚玻璃到底是什么？苏联科学院術語委员会規定了这样一个定义：“凡由熔融物过冷所得，并因粘度逐漸增加而具有固体机械性質的无定形物体，不管其化学成分如何及硬化温度范围如何，均謂之玻璃，而且其由液态变为固态的过程应当是可逆的”。这就是玻璃的定义，它包含了任一玻璃态系統所固有的最为代表性的性質。

但是，上面的定义是一个一般性的、广泛的定义，我們現在只研究一組較狹的无定形固态无机玻璃。

根据一般記載，远在紀元前 3000~4000 年，埃及人和美索不达米亚人就开始制造玻璃，最初制出来的玻璃并不象我們現在这样透明，經過了很长时期的改进，才逐漸得到比較透明的玻璃。但是，經過了許多世紀，玻璃的品种仍是非常之少，直到十九世紀末期，二十世紀初叶，玻璃的种类才迅速增加起来。

玻璃的成份和熔制过程 最初的玻璃成份很簡單：石灰(CaO)、苏打(Na_2CO_3)、砂子(石英砂 SiO_2)。以后，人們逐漸掌握了在玻璃中改变和加入氧化物的含量而获得不同性能的玻璃的方法，从而玻璃的品种就迅速的增多起来。現在，工业玻璃包含的氧化物种类很多，如 SiO_2 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 、 B_2O_3 、 K_2O 、 PbO 、 BaO 、 ZnO ……等等許多种，下表是日常遇到的几种玻璃的組成表。

表 2.1.1

玻璃名称	氧化物含量 (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	PbO
平板玻璃	72.2	0.14	11.2	2	13.7	—	—	—
器皿玻璃 (1)	53~56	—	—	—	—	10~13	—	30~36
器皿玻璃 (2)	72~73	0~1	4~6	3~4	14~18	0~2	—	—
灯泡玻璃	71.5~73.5	1	5~6	3.5~4.5	15~17	0~1	—	—
派勒克司玻璃	80.5	2.2	—	—	3.8	0.4	12.9	—
温度计玻璃	60.8	3.0	—	—	10.2	1.0	1.3	22.8
眼镜片玻璃	70.9	0.1	11.9	—	8.9	7.3	—	—

要得到各种氧化物的原料也是多种多样的, SiO₂ 常用石英砂 (SiO₂) 得到; Al₂O₃ 可用钾长石 (K₂O·Al₂O₃·6SiO₂)、高岭土 (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O)、氧化铝 (Al₂O₃) 等得到; CaO 可用生石灰 (CaO), 消石灰 [Ca(OH)₂]、石灰石 (CaCO₃)……等得到; Na₂O 可用碳酸钠 (Na₂CO₃)、芒硝 (Na₂SO₄)……等得到; 其他如 MgO 可用碳酸镁 (MgCO₃)、白云石 (MgCO₃·CaCO₃), K₂O 可用碳酸钾 (K₂CO₃)、硝石 (KNO₃), B₂O₃ 可用硼酸 (H₃BO₃)、硼砂 (Na₂B₄O₇·10H₂O), PbO 可用铅丹 (Pb₃O₄)、氧化铅 (PbO) 等等来得到。

玻璃按其组成将各种原料选配好以后, 将其捣碎、精选, 按比例准确称好, 然后放入特制的耐高温的粘土坩埚中或池中进行熔炼, 玻璃熔化过程一般分为下述五个阶段:

第一阶段——硅酸盐形成。一般普通玻璃 (钠-钙-硅玻璃), 这时的温度在 800~900℃。

第二阶段——玻璃的形成。一般普通玻璃, 这时温度在 1200℃。

第三阶段——澄清。一般普通玻璃, 这时温度在 1400~1500℃, 粘度 $\eta = 100$ 泊。

第四阶段——均化 (使趋向均一的作用)。熔制普通玻璃时, 温度可能低于澄清的温度。

第五阶段——冷却。将玻璃液温度降低至 200~300℃, 以便

使玻璃液具有成型所必需的粘度。

玻璃熔化的五个阶段,通常并不是严格的区分开来,而是差不多同时进行,例如硅酸盐的形成和玻璃的形成,澄清和均化等。一般說来,经过以上五个阶段,玻璃基本上已熔制成了。下面是接着其他一些加工,例如成型、退火等等,这在下面就要讲到。

以上讲的是一般普通的玻璃,如我们的窗玻璃的主要成分和熔制方法,一般工业玻璃的成分要比这个复杂得多,熔制方法基本上还是这五个阶段,但是要求掌握得严格,关于它们的熔炼方法等等,由于本书的范围和篇幅所限,故不作详细介绍。下面我们谈一下光学玻璃。什么叫光学玻璃?我们可以作这样解释:就是制造光学仪器零件用的玻璃。所有的无色光学玻璃可以分为两大类:冕牌玻璃和火石玻璃,冕牌玻璃指 PbO 含量少的玻璃,凡 PbO 含量小于3%的玻璃称之为冕牌玻璃或简称冕玻璃;火石玻璃指 PbO 含量多于或等于3%的。

冕牌玻璃的特性是:质轻、透明、性硬、折射率小。

火石玻璃的特性是:质重、略带黄绿色、性软、折射率大。

在光学玻璃上,都打有字母标记说明这是什么玻璃,如以K——代表冕牌,Φ——代表火石(苏联代号),同时还在字母后记上数字来更细致的区分不同光学性能如 $K_1, K_2, \dots, \Phi_1, \Phi_2, \dots$ 等等。此外还加上字母指明玻璃某些特殊性质,如T——代表重,Л——代表轻等。再有加上某些字母指明玻璃系含有此种元素成分如:Б——代表含有钨。下面是几种符号所代表的意义举例:K——冕牌;TK——重冕牌;BK——含钨冕牌;KΦ——冕牌火石;БΦ——含钨火石;Φ——火石;ЛΦ——轻火石;TΦ——重火石;OΦ——特种火石。

在冕牌和火石两大类中,每一类又包含很多不同光学性能的品种,它们的成份也是要比一般的玻璃复杂和精确得多。例如最常见的K8玻璃的成份就包含有: $\text{SiO}_2, \text{B}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{BaO}, \text{ZnO}, \text{As}_2\text{O}_3$ 等七种;又如TK2的成份包含有 $\text{SiO}_2, \text{B}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{BaO}, \text{ZnO}, \text{As}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$ 等八种。以上二种是属于冕牌一

类的,再举二种火石一类的,如 ЛФ7 的成份包含有: SiO_2 , Na_2O , K_2O , BaO , PbO , As_2O_3 , Sb_2O_3 等七种; TФ1 包含有: SiO_2 , Na_2O , K_2O , PbO , As_2O_3 等五种。

光学玻璃品种的复杂不仅表现在所含元素之多,而且表现在它们成份的量所含百分比的变化数字上,有许多玻璃所含基本元素品种是相同的,但由于百分比的不同,因而光学性能也就不同。光学玻璃成份的百分比数字都要精确到小数以后三位。

玻璃的成型与退火 上面讲过,玻璃原料经过五个阶段基本上已得到了玻璃,但是,我们还须进一步加工,以便运输、储备和加工成玻璃制品等,首先是玻璃的成型,这里我们主要谈的是光学玻璃的成型,下面我们介绍一下玻璃几种成型的方法。

第一种:槽沉法。玻璃成型的温度约 $600\sim 300^\circ\text{C}$ 时进行。首先将玻璃料放入模子中然后加热玻璃到软化的温度,在其自身重力的影响下将玻璃分布满整个粘土模型而获得一定形状的成型玻璃如玻璃砖。

第二种:压形法。把玻璃加热到软化的温度,然后使用强制的压力使玻璃成型。

第三种:浇注法。这种方法与普通的翻砂相似,直接从坩埚里倒入模型。

第四种:轧制法。将有流动性的玻璃质倾注在铸造面上,然后用一个直径约为 0.75 米有着细纹表面的辊筒轧制。

玻璃经过上述成型以后,可以进行精密退火了。精密退火的目的有二:

(1) 减少由于热的过程(指冷却或加热过程)的结果而发生的内应力到允许的数值以内。

(2) 进行玻璃的折射率的微量的矫正。

一般光学玻璃退火温度在 $370\sim 700^\circ\text{C}$ 范围以内。

光学玻璃的退火一般分四个阶段:

(1) 光学玻璃加热至退火温度。

(2) 光学玻璃保持在退火温度上,使玻璃内部结构平衡,内应

力消失。

(3) 从退火温度很快冷却直至粘度为 10^{15} 泊 (相当于低于退火温度 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$) 这个间断称退火的间断, 稍不慎重, 可重生内应力, 冷却速度随着厚度的增加而减小, 玻璃低于此温度, 残余应力不再发生。

(4) 以相当快的速度冷却, 一般比在退火间断中的大 $3\sim 4$ 倍, 玻璃退火的制度决定于玻璃的成分和制品的厚度。

玻璃的分类 由于玻璃的用处不同和它的物理化学性质不同, 有人曾经尝试把玻璃按组成分类:

石英玻璃 (包括由熔化二氧化硅而成的) 它的特点是制造时必须极高的温度和特殊熔炼方法。

平板玻璃 这种玻璃的特点是对大气的作用力——湿度、碳酸气等的影响有相当高的化学稳定性。

瓶玻璃 (瓶罐玻璃) 它的主要要求是要有高的化学稳定性。

精制玻璃 它的特点是易熔, 粘度变化的进程比较平稳, 它主要要求是无色性透明度和高的折射率。

稳定性玻璃 它是将各种具有高度化学稳定性和热稳定性的组分归纳在一起。

光学玻璃 它的特点是具有很好的均匀性、透明性等各种符合制造光学仪器的光学性质。

珐琅和釉等玻璃状物质

料玻璃和不透明玻璃 包括着色的和不透明的玻璃。

另外, 还有这样一种按组分来分类的方法, 如分成: 硅酸盐玻璃 (其中基本结构的氧化物是二氧化硅); 硼硅酸盐玻璃 (其结构由二氧化硅和硼酸酐组成); 硼酸盐玻璃 (具有 B_2O_3 结构); 磷酸盐玻璃 (其中结构是五氧化二磷) 等。

2. 光学玻璃的技术条件

(1) 折射率及平均色散的一致性

它们的偏差分成四组 (表 2.1.2)。

表 2.1.2

組 別	許 可 偏 差 量	
	n_D	$n_F - n_C$
1	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$
2	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 7 \cdot 10^{-5}$
3	$\pm 10 \cdot 10^{-4}$	$\pm 10 \cdot 10^{-5}$
4	$\pm 20 \cdot 10^{-4}$	$\pm 20 \cdot 10^{-5}$

同一批玻璃中, 折射率和中部色散的一致性按以下四組規定:

表 2.1.3

組 別	一 批 毛 坯 中 最 大 差 值	
	折 射 率 n_D	中部色散 $n_F - n_C$
1	$0.5 \cdot 10^{-4}$	} $1 \cdot 10^{-5}$
2	$1 \cdot 10^{-4}$	
3	$2 \cdot 10^{-4}$	
4	所有毛坯的折射率 都在規定範圍之內	所有毛坯的中部色 散都在規定範圍內

(2) 吸收系数

玻璃的吸收系数規定为在玻璃內每长 1 厘米行程上被吸收的白光光通量与該行程的光通量之比, 按照其数量分为六等。

表 2.1.4

組 別	光 的 吸 收 系 数	組 別	光 的 吸 收 系 数
1	0.004 以內	4	0.008~0.010
2	0.004~0.006	5	0.010~0.015
3	0.006~0.008	6	0.015~0.020

通常的光学玻璃在光譜的可見部分十分透明但却吸收紫外綫和紅外綫。硼硅酸冕牌具有最大的透明性, 鋁冕牌和輕火石則具有

較大的光的吸收,重火石很不透明。

(3) 光学一致性

根据 ГОСТ 規定光学的一致性用平行光管理想鑑別角 Φ' 对把玻璃毛坯放入后小偏差角 Φ 之比来表示

根据 Φ'/Φ 之比把光学玻璃分成 5 組:

表 2.1.5

組 別	Φ'/Φ	組 別	Φ'/Φ
1 和 2	1.0	4	1.1—1.2
3	1.0—1.1	5	1.2—1.5

註: 理想鑑別角 Φ' 等于 $120''/D$ (圓孔) 或 $115''/D$ (长方孔), 平行光管光圈的尺寸 D 等于毛坯的直径或等于长方形毛坯的边长(用来計算 Φ' 的那一边)。

对第一类玻璃另一补充要求: 星点要好。

(4) 气泡度

气泡規定为十类六組, 結石、結晶体、密集条紋的中心点当做气泡計算。气泡的类别:

表 2.1.6

类	在毛坯中最大的气泡或結石的直径(毫米)	类	在毛坯中最大的气泡或結石的直径(毫米)
1	不許有气泡	5	0.5
1a	0.05	6	0.7
2	0.1	7	1.0
3	0.2	8	2.0
4	0.3	9	3.0

按每公斤玻璃中 $\Phi > 0.03$ 毫米的气泡数分成六組(表2.1.7)。

(5) 无条紋性

条紋規定为二类 2 級。

a. 条紋按在一定方向透視玻璃毛坯时条紋的光学作用分类 (ГОСТ 3521-57)(表 2.1.8)。

表 2.1.7

組	1 公斤中結石和气泡平均数	組	1 公斤中結石和气泡平均数
A	在10以內	Г	100~300
B	10~30	Д	300~1000
В	30~100	Е	1000~3000

註: 1a~9 組玻璃中直径 <0.03 气泡数不能超过該級玻璃允許气泡数。

表 2.1.8

类 別	条 紋 程 度
1	条纹的光学作用与一类标准样品相等的不得有
2	条纹的光学作用与二类标准样品相等的不得有

长度不超过 12 毫米的密集短条纹, 每公斤玻璃中允許最多有 10 个。

b. 条纹的級別規定毛坯應該在几个方向上符合定貨时要求的条纹类别。

表 2.1.9

級 別	毛坯符合条纹类别要求的方向
1	任何方向
2	某一个规定方向

(6) 光綫的双折射

双折射用寻常光綫和非寻常光綫在每 1 厘米的光路中的光程差表示, 对光学玻璃可分成五組(表 2.1.10)。

3. 顏色玻璃和技术玻璃

顏色玻璃 厚度为 5 毫米的玻璃, 在光波譜区的可見部分具