

光学材料与光学零件工艺学

查立豫 編
辛企明

內 部 教 材

北京工业学院

1963.3

目 錄

緒論	1
一、光学零件工艺学的内容和任务	1
二、光学零件工艺学的重要性	1
三、光学零件工艺学的发展簡史	2
四、光学零件	2
五、光学材料	3

第一篇 光學材料的物理化學性質

第一章 关于玻璃的一般概念	4
§ 1. 玻璃的定义	4
§ 2. 玻璃的特征	4
§ 3. 玻璃的結構	5
第二章 光学玻璃的性質	10
§ 1. 光学玻璃的光学常数	10
§ 2. 光学玻璃对光的反射、吸收和散射	12
§ 3. 光学玻璃的均匀性	13
§ 4. 有色玻璃	14
§ 5. 光学玻璃的化学安定性	15
§ 6. 光学玻璃的机械性能	16
§ 7. 光学玻璃的热性能	19
§ 8. 光学玻璃的热加工工艺性能	21
第三章 关于晶体的一般概念	25
§ 1. 晶体的定义	25
§ 2. 晶体内部构造的規律	25
§ 3. 晶体的基本性質	26
§ 4. 光学仪器中常用的几种晶体的性質	27

第二篇 光學材料的制备

第一章 光学玻璃的制造	30
§ 1. 光学玻璃化学成分的确 定	30
§ 2. 光学玻璃用原料	31
§ 3. 光学玻璃熔炼用設 备	34
§ 4. 光学玻璃熔炼的理論基 础	36
§ 5. 光学玻璃的成型加工	40
§ 6. 光学玻璃的热处理	43
第二章 某些特种玻璃的制造	47
§ 1. 石英玻璃	47
§ 2. 高硅氧玻璃	48
§ 3. 透紫外綫玻璃	49
§ 4. 吸收紫外綫玻璃	49
§ 5. 透紅外綫玻璃	50
§ 6. 导电玻璃	51
§ 7. 防輻射綫玻璃	54
第三章 人工晶体的培养	56
§ 1. 从溶液中培养晶体	56
§ 2. 从熔体培养晶体	58

第三篇 光學零件的冷加工工藝

第一章 概述	60
§ 1. 常用光学零件制造工艺过程的分类	60
§ 2. 关于光学零件制造过程中技术条件和加工公差的说 明	60
第二章 光学零件机械加工过程的有关学說和原理	62
§ 1. 固着磨料加工玻璃时的原理和学說	62
§ 2. 散粒磨料研磨加工的有关学說	62
§ 3. 关于抛光过程机理的学說	64
§ 4. 各种工艺因素对研磨和抛光生产率的影响	66
§ 5. 各种工艺因素对加工表面質量的影响	70

第三章 冷加工用设备	76
§ 1. 預加工設備.....	76
§ 2. 銑切加工設備.....	79
§ 3. 散粒磨料加工用机床和給料器.....	81
第四章 光学零件的装夹和装夹计算	87
§ 1. 毛坯預加工中的胶接.....	87
§ 2. 透鏡的胶接方法.....	87
§ 3. 稜鏡的装夹方法.....	89
§ 4. 平面零件的装夹.....	90
§ 5. 平面鏡盘的装夹計算.....	91
§ 6. 球面鏡盘弹性装夹的計算.....	95
§ 7. 球面鏡盘刚性装夹的計算.....	100
第五章 研磨抛光工具	107
§ 1. 研磨工具的材料.....	107
§ 2. 研磨过程的工序安排.....	107
§ 3. 球面研磨加工工具計算.....	109
§ 4. 低曲率球面磨模的計算.....	114
§ 5. 平面加工用磨模的計算.....	115
§ 6. 光学零件的抛光工具.....	116
§ 7. 磨盘和抛光盘的其他尺寸.....	118
第六章 平面球面光学零件的冷加工过程	121
§ 1. 粗磨加工.....	121
§ 2. 細磨加工.....	122
§ 3. 精磨加工.....	122
§ 4. 抛光加工.....	122
§ 5. 透鏡和平面零件的加工.....	123
§ 6. 稜鏡的加工.....	124
§ 7. 对样板的制造.....	125
§ 8. 球形零件的加工.....	128
§ 9. 超半球零件的加工.....	129
§ 10. 小型透鏡的加工.....	130
§ 11. 大型透鏡的加工.....	130

第七章 非球面光学零件的加工	132
§1. 非球面外形的类型	132
§2. 非球面形成的方法	134
§3. 面接触的加工方法	134
§4. 点接触的加工方法	136
§5. 綫接触的加工方法	138
第八章 晶体的冷加工工艺	144
§1. 晶体材料的檢驗和晶軸的測定	144
§2. 晶体的冷加工工艺	144
第九章 定心	146
§1. 定心的目的	146
§2. 定心方法的分类	146
§3. 光学法定心	146
§4. 机械法定心	149
第十章 水泡制造工艺	151
§1. 水泡的概述	151
§2. 水泡玻璃管的要求	151
§3. 圓球形水泡的制造	152
§4. 圓柱形水泡的制造	152
第十一章 光学零件加工用付料	155
§1. 磨料	155
§2. 抛光材料	158
§3. 抛光敷料——俗称瀝青或柏油	159
§4. 粘結用敷料	156
§5. 石膏	160
§6. 各种粘結用蜡	160
§7. 各种保获用漆	160
§8. 各种溶剂	161

第四篇 光學零件的特种加工

第一章 光学零件的結合	162
--------------------------	-----

§ 1. 光学零件结合法的一般概念	162
§ 2. 用胶合法结合光学零件	163
§ 3. 用光胶法结合光学零件	166
§ 4. 晶体的胶合	167
第二章 光学零件的刻度和分划工艺	168
§ 1. 分划零件的制造方法分类	168
§ 2. 分划零件制造的技术条件	168
§ 3. 分划光学零件的机械刻度加工	169
§ 4. 分划光学零件的机械化学加工	172
§ 5. 分划光学零件的照相加工	174
§ 6. 分划光学零件的机械照相加工	177
§ 7. 光栅制造概述	178
第三章 光学零件的加膜工艺	179
§ 1. 加膜工艺的分类和用途	179
§ 2. 真空气化法加膜	181
§ 3. 阴极溅射法加膜	188
§ 4. 光学零件加透膜的化学加复方法	192
§ 5. 用化学沉淀法加复银层	198
§ 6. 物理法和化学法镀膜的比较	198
附表	199
参考书目	219

緒 論

一、光学零件工艺学的内容和任务

光学零件工艺学是研究光学仪器中各种光学零件——透鏡、稜鏡、平面零件——的制造工艺过程的。

光学零件在制造过程中主要包括光学材料的制造以及光学零件的制造。在光学零件的加工过程中又可以分为光学零件的冷加工和特种加工二个部分。

在解决光学材料的制造与光学零件的制造过程之前，应该首先了解光学材料的各种性能，才能顺利地解决加工问题，符合仪器的要求。因此在光学零件工艺学课程中。首先讨论有关光学材料的性质。整个课程分四部分进行讲授。

光学材料的性质。

光学材料的制造工艺。

光学零件的冷加工工艺。

光学零件的特种加工工艺。

二、光学零件工艺学的重要性

在科学技术和文化的发展中，光学仪器起着很大的作用，在人类的各种知识领域中光学仪器几乎是不可缺少的，在近代的天文学，摄影学，医学，航海学，机械制造，照明学，电影，实验室和测量技术，国防和国防工业方面，假如没有光学仪器，那是很难想象的。尤其在国防工业中，在现代的战争中，军用光学仪器更是占着极为重要的地位，因此，不论在国民经济中和国防事业的发展中，光学仪器的生产和研究都受到很大的重视。

在光学仪器中主要是通过光学系统来完成其主要作用的，因此光学零件是光学仪器中极为重要的一部分，光学零件的好坏，直接影响着光学仪器的质量，而光学零件的生产率更关系着仪器工业的发展，因此光学零件工艺在光学仪器工业中有着很重要的地位。

对于从事光学仪器设计的人来说，只有很好具备有关工艺方面的知识，才能使设计既能满足使用要求，又能符合工艺的原则。尤其在光学设计中，往往会遇到有关光学材料的选择，光学公差的制定以及零件类型的设计等，虽然这些问题主要是根据设计的要求来确定，但是假如没有能紧密的连系到实际生产中工艺的可能性以及生产单位的技术水平和设备条件，那末往往很难顺利地实现设计者的意图，而且一项优秀的设计，不但要保证产品本身的质量，更需在制造过程中能保证多快好省，要满足这些条件，对一个设计者来说就应该具备足够的工艺知识。所以，对于光学工业方面的技术人员来说，对于工艺知识应该给以足够的重视。

三、光学零件工艺学发展簡史

我国是一个历史悠久的国家，勤劳勇敢的中国人民在科学技术上作出了很大的成就，在古代就有許多发明創造，並且有許多理論总结。在光学仪器方面的創造和发明也是很多的，例如：公元前 468—376 年战国时代的墨翟，在他的著作中就曾发表过关于光学原理的獨特見解。东汉末年杰出的发明家張衡（78—193）发明創造过不少精巧的仪器。北宋的学者沈括（1032—1096）根据古代的技术科学发明和当时的生产实践，写了一部著名的作品“梦溪笔談”，这是我国一部有价值的科学技术論著。明代末年的学者宋应星所著的“天工开物”（1637 年）是中国古代一部完备的生产技术百科全书。所有这一切都說明了我国劳动人民的无穷智慧以及对科学技术的偉大貢獻，这是值得我們引以为自豪的，我們應該发揚我們祖先的辛勤劳动和科学发明，为我国社会主义建設服务，並在世界科学史上取得应有的地位。

但是在封建王朝及国民党反动派的长期黑暗統治下，尤其是近百年来帝国主义，封建主义和官僚資本主义的統治，上述的創造发明和科学成就並沒有得到进一步的发展，当然，这也就限制了我国光学工业的发展。我国的光学工业是在解放后发展起来的，国民党所遗留下来的仅仅是一些支离破碎的极为貧穷的光学工业，在技术上和物资供应上对国外有着很大的依賴。

解放十四年来，由于全国人民在党的领导下的努力，由于苏联和其他兄弟国家的援助，我們建立起了自己的具有先进水平的光学工业，与此同时，在全国各大中小城市也相繼建立了許多中小型企业，从而大大改变了我国光学工业的落后面貌，並迅速提高了光学工业的生产能力。不論在光学玻璃的制造中或光学仪器的生产中我們都已完成了从依賴进口到基本自給的过渡，从修配到仿制的过渡，現在又以最大的努力和最快的速度向着从一般产品到高大精尖甚至是前人所未做过的尖端技术迈进。所有这些成就都标志着我国光学工业已进入了一个更高的发展阶段，形成了光学工业的雄厚基础。尤其在五八年大跃进以来，在党的总路綫光輝照耀下，在党的一整套两条腿走路的方針指导下，全国人民高举毛泽东思想紅旗，政治掛帅，大搞羣众运动，使我国的光学工业以空前未有的高速度持續跃进。在党提出了以机械化，半机械化，自动化，半自动化为中心的技术革新和技术革命以后，羣众的智慧和創造力得到了充分的發揮，冲破了迷信外国的思想束縛，新的創造如雨后春笋，推动着我国的光学工业向着更广阔的前途发展。可以确信，在不断实践——总结——再实践的基础上，将会使我国的光学工业得到进一步的巩固和提高。

四、光学零件

光学机械仪器的范围很广，种类繁多，构成仪器的除了复杂程度和精密程度远不相同的各种机械、电器零件部件外，更主要的往往是仪器的光学系統，不同类型的光学仪器具有不同零件組成的光学系統，这些零件在种类性質和用途上差异极大，但大致上可以按下列二种方法来分类：

一、按适用的光輻射波段范围区分。

二、按光学系統所起的作用对光学零件进行分类。

現將所屬各種零件分述于后：

一、廣義的分類：光學系統是儀器中處理或利用一定波段電磁輻射能的裝置的總稱。但當波段範圍不同時，如在可見光範圍，或紅外紫外以及更長或更短波長所用的零件差異很大。

二、從光學系統的作用上來考慮，光學零件又可分為：

1. 用以會聚、發散或轉折光綫，以及進一步組成成像系統的折射或反射零件，這是光學系統中最常見的零件，如透鏡、稜鏡和反射鏡等；

2. 用以在儀器中使光輻射產生各種物理光學現象的零件，如偏振（起偏振鏡、檢偏振鏡等各種零件）、衍射（如光柵等）、干涉（如干涉膜）、不同波段光輻射的濾析（如濾色片等）等。

3. 用以在儀器中接受光輻射，產生各種光效应的零件，如光化學效应（感光板等），光電效应（光電池、光電管、紅外光電轉換器等），光致發光效应（螢光屏等）；

4. 在各種光學儀器中起輔助作用的光學零件，主要用來計量測定、標定位置的零件，例如各種用途的分划板、水泡、光度色度學儀器和高溫器中使用的中性濾光片，標準濾色片等；

5. 在某種意義上講，甚至各種光源也可以認為是特殊類型的光學零件。

由此可見光學零件的範圍是極廣的，在我們這門課中僅重點討論上列 1 和 4 中的一些主要零件，這也是我專業所用各種儀器中最常遇到的。

五、光學材料

前節我們已經敘述了各種不同类型的光學零件，現在我們再討論一下關於製造各種不同光學零件所用的材料。

由於不同光學零件種類繁多，因此製造這些零件所需的材料也各不相同，其中最主要的是製造一般可見光範圍內用的透鏡、稜鏡、分划板、保護玻璃所用的光學玻璃。其次有用于紅外紫外波段零件和偏振零件的天然和人工晶体，反射鏡用的金屬材料，干涉膜、反射膜和半反射膜用的金屬和有机和无机化合物，各種折射液、濾光液以及感光材料，光電元件螢光劑等都是光學儀器製造中所用的光學材料，在本課程中着重討論光學儀器製造中最關鍵的材料——光學玻璃和晶体。

第一篇 光学材料的物理化学性质

第一章 关于玻璃的一般概念

玻璃几乎是与人类的文化历史同时出现的，早在二千多年以前，在罗马埃及已经会制造一些不太透明的玻璃，但是玻璃被应用在光学上相对的还比较晚。

§1. 玻璃的定义

苏联科学院名词委员会对于玻璃的定义是：“不论化学成分和固化温度范围如何，一切由熔体过冷却所得的无定形物体，由于粘度逐渐增加而具有固体机械性质的都称玻璃”。

能符合玻璃定义的物质很多，如天然的火山岩、浮石、琥珀、人造的各种热塑性塑料等，有的元素如硫、磷、硒也能够转化成玻璃态。但实用意义上所指的玻璃是以硅、硼、磷等的氧化物作为玻璃形成的主要氧化物，并含有各种碱金属氧化物的过冷却液体，其中以二氧化硅为主的硅酸盐玻璃，为一般生产的主要工业玻璃和光学玻璃。特殊用途的玻璃中也有硼硅酸盐、磷酸盐、硼酸盐类型的。

变更玻璃的化学成分，可以得到所要求的各种物理和化学的性质，以满足不同的用途。

§2. 玻璃的特征

1. 各向同性：玻璃内部任何方向所量得的物性（如折射率，热膨胀系数，导电系数等）是同值的。这与晶体不同，晶体的许多性质，将因被量的内部方向的不同而不同，玻璃各向同性的性质是由于它的内部结构各向统计起来都相同的缘故。

2. 介稳性：玻璃状态比晶体状态含有较高的能量，所以当玻璃体状态向晶体状态转变时，往往要放出这部分能量，（一般说这能量不大），所以我们说玻璃状态有向晶体状态转变的可能性，于是玻璃体也就具有介稳的特性。

3. 渐变可逆的稠化过程：玻璃态物质由熔融状态稠化时没有新相出现，同时是一个渐变的可逆的稠化过程，这与晶体物质的熔融物不同，结晶物质的熔融物，只能在一定的温度下开始结晶，并等到全部结晶后，才开始温度的下降。

4. 固化过程中物理化学性质的连续渐变性。如图 1-1-1 所示，玻璃的比容或比热与温度之间的关系曲线。在比容与温度的曲线上我们可以看到曲线的 ab 段和 cd 段近乎成一条直线，而 bc 段是一曲线，这说明系统的性质正在加速变化。在比热与温度的曲线中，我们也能同样地看到 a'b' 段与 c,d' 段是直线而 b'c' 段是一曲线。同时在图上又能看出 b 点与 b' 点的温度座标是相同的，以温度 T_g 表示；而 c 点与 c' 点的温度座标也相同，以温度 T_f 表示。当温度低于 T_g 时，即曲线的 ab 及 a'b' 段，其粘度大于 10^{13} 泊，玻璃成为脆性；

当温度高于 T_f 时，其粘度相当于 10^9 泊，玻璃内开始出现液体状态的典型性质。 T_f 与 T_g 的温度范围即为玻璃的固化温度范围，温度范围的大小随着玻璃的不同而不同，有的才只有几十度，有的却达到几百度。由此我们可以看到在固化过程中，玻璃的物理化学性质是连续渐变的。若是晶体，可由图上的虚线所示，当温度 T_{nn} 为时，其物理化学性质产生突然的升高或降低。

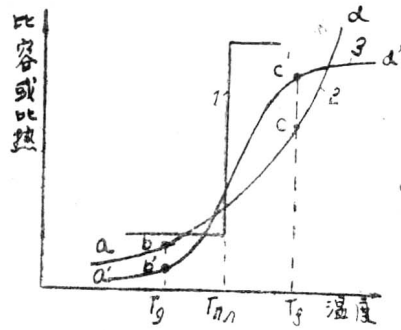


圖 1-1-1 玻璃的比容與比熱與溫度的關係曲線

§ 3. 玻璃的結構

玻璃的性质不但与组成有关，而且很大程度上与玻璃的结构有着密切的联系。事实证明，玻璃不是一个单纯的无定形体，其质点并不是没有丝毫规律性的。无定形体的性质和化学组成有关，但是，玻璃由于结构的改变会产生性质上的变化。例如，玻璃的急冷不只引起机械应力，而且会使玻璃在内部结构上产生变化——例如折射率的改变，因而在一定程度上，有可能用不改变化学成分而只改变玻璃结构的方法来控制玻璃的性质。由此可见研究玻璃结构可以帮助人们有意识地在生产上控制玻璃的性质。

在玻璃中，有规则排列的原子或组成质点比合金少得多，因而使玻璃结构的研究非常困难，迄今为止，虽然已获得不少成就，但总的讲还只处于定性阶段。例如已经判定在玻璃中含有一定量的结构单位，但是它们的数量、大小及组成还未确知。因而，目前重要的任务在于研究玻璃结构的定量关系，从而为玻璃的生产和应用服务。

最初，人们把玻璃看成过冷却液体，以后又产生了胶体、微晶、网形结构学说。现在讨论以下三种学说：

1. 过冷却液体学说

这个理论的基础是把玻璃看作几乎完全不具有真正固体所应有的结晶特征。玻璃的机械性质和固体的所以相似，被解释为由于玻璃具有极大的粘度，而后者的产生是因为激烈过冷所致。该理论认为一般玻璃的形成原因在于晶体生长的速度落后于晶体冷却时新结晶中心产生的速度，也即在产生结晶中心最快的时候，往往晶体的生长速度很小甚至为零，因此，不易得到结晶态，而得到玻璃体。

把玻璃看作是过冷却的液体，说明了它的内能将较晶体为大，但是它的物理化学性质随着温度的变化却不应该会产生突变。可是许多实验指出玻璃性质随着温度变化时出现明显的不均匀转变。因此，过冷却学说虽然指出了玻璃态与液态之间的相似，但毕竟没有达到现代科学水平，现在基本上已为下述二种学说所代替。

2. 微晶学说

微晶学说的基本原理是由苏联学者 A. A. 列别捷夫于 1921 年首先提出的。微晶学说的主要内容是：玻璃的结构可看作是多种硅酸盐和硅石所生成的一群微小结晶，其化学性质是由玻璃的化学成分来决定的，这些微小结晶可以是一定组成的化合物或为固态溶液，它们

的本質應該与玻璃的系統状态图相連系。可是这些微小結晶並不是具体而仅微小的結晶格子，而是极度变形的結構，不过是或多或少地反映出正常晶格的构造而已。

微晶学說的实验基础是：用約含有 70% SiO_2 的硅酸盐玻璃作試驗，如图 1-1-2 所示，由室溫加热到不超过 520°C 时，玻璃的折射率与溫度的关系几乎是直綫关系，折射率随着溫度的增长而增长，而且是可逆的效应，因为可以由室溫加热到任何一个不超过 520°C 的溫度后，将其急冷下来，回到原来的室溫，然后再測其折射率时，所得到的数值是与未加热前的折射率相同的，但是将玻璃加热到高于 520°C ，在 $520-595^\circ\text{C}$ 間折射率驟然变小，从图上我們可以看到曲綫几乎成垂直綫急剧下降；而且当加热到曲綫的下降部分后，若再将其冷却至室溫，所測得的折射率远較原来室溫时之折射率为小。列別捷夫又研究了硅酸盐玻璃的热膨脹系数，发现热膨脹系数同样的在 $520-595^\circ\text{C}$ 溫度段內曲綫有突然的变化。列別捷夫将上述情况与石英結晶的晶型轉变連系起来，发现 $520-595^\circ\text{C}$ 正是 $\alpha-\text{SiO}_2$ 轉变为 $\beta-\text{SiO}_2$ 的溫度段，因此列別捷夫認為玻璃的折射率与热膨脹系数所以在 $520-595^\circ\text{C}$ 間会有突变，这是由于玻璃內部的石英結晶的轉变所引起的，因此，可以証明玻璃內部有石英微晶的存在，而这种微晶並非具体而仅微小的結晶，而是极度变形了的。

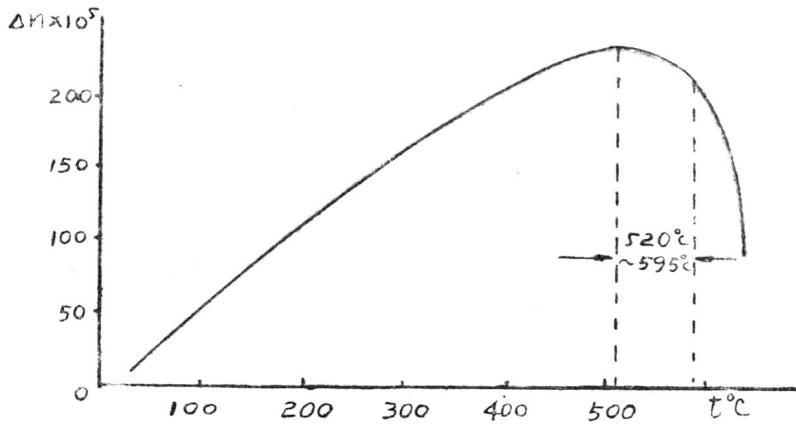


圖 1-1-2 玻璃折射系數與溫度的關。

列別捷夫的学說得到了下列各实验的証实：

a. 杜多洛夫斯卡娅研究了 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 和 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 二种系統玻璃的折射率，所用玻璃 SiO_2 的含量很高，在 $50-300^\circ\text{C}$ 的溫度段內于不同溫度下測定折射率，精确度达第七位。观察到 $85-120^\circ\text{C}$ ， $145-165^\circ\text{C}$ ， $180-210^\circ\text{C}$ 的溫度範圍內有极明显的 n_D 的变化，(图 1-1-3 所示)，这些变化溫度与 α 鱗石英 $\rightarrow \beta$ 鱗石英， β 鱗石英 $\rightarrow \gamma$ 鱗石英， α 方石英 $\rightarrow \beta$ 方石英的轉化溫度相符；尤其是 n_D 变化的值与 SiO_2 含量有关，在有些不含游离 SiO_2 时，即全部 SiO_2 都存在于硅酸盐状态时，上述 n_D 的变化則消失。

因此，杜多洛夫斯卡娅得出結論：在含有 50% 克分子以上的 SiO_2 的玻璃中有鱗石英和方石英微晶。但是玻璃中微晶含量的多少，实验不能得出肯定的結論。折射率在第六位及第七位上才发生变化，說明微晶含量是少的，但是杜多洛夫斯卡娅認為微晶是具有极度变形

的，因此，即便微晶大量存在，也不能象 SiO_2 那样使折射率大为改变。

6. 斯托扎罗夫测定玻璃的热膨胀系数时发现：在 $\alpha \rightarrow \beta$ 鳞石英， $\beta \rightarrow \gamma$ 鳞石英以及 $\alpha \rightarrow \beta$ 方石英的转变温度范围内有相当明显的特殊性。

B. 瓦连科夫和波拉伊科希茨用伦琴射线研究石英玻璃及硅胶的衍射图得出结论：石英玻璃是由低温方石英微晶所组成，可能含有少量高温方石英和鳞石英；在硅胶中则只含有低温方石英微晶。衍射的明显度以 α -石英得到的玻璃最差，其次为方石英，硅胶最佳，由此得出结论：玻璃的结构与制备和处理方法有关。这将与网状结构学说的玻璃完整均匀性的假定有分歧。

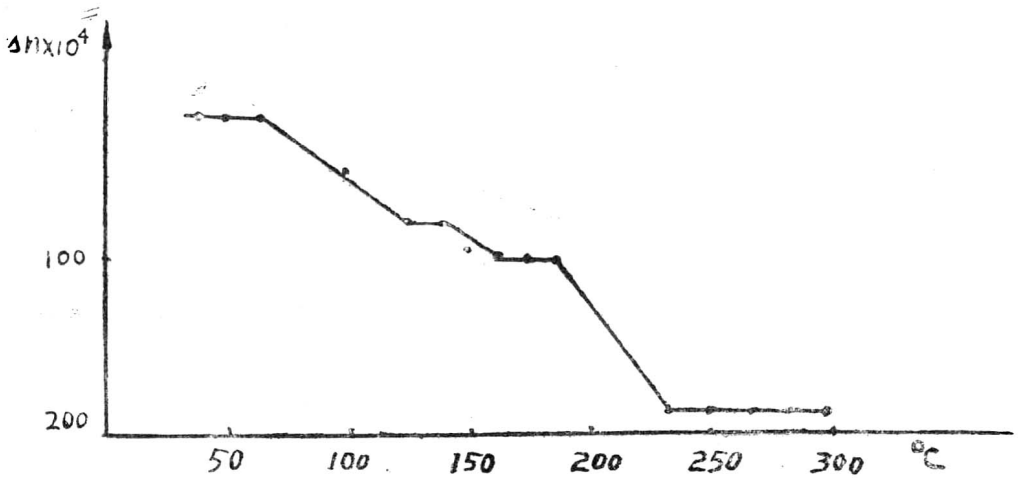


圖 1-1-3 玻璃折射率與溫度的關係曲線。

Г. 馬托西应用紅外光譜研究玻璃结构时指出，結晶态和玻璃态二氧化硅的紅外光譜同样地在 $\lambda = 12.4\mu$ 时具有吸收带，这说明玻璃态二氧化硅必須具有一定結晶结构时才能得到上述实验结果。当含有 50% PbO 的玻璃沒有发现吸收带，随着 SiO_2 含量的增加， $\lambda = 12.4\mu$ 时的吸收带漸漸明显，这是由于含有 50% PbO 时，玻璃的組成恰好等于偏硅酸鉛，而不含有游离 SiO_2 的缘故。

Д. 格莱培希柯夫的实验

格莱培希柯夫院士用 $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 玻璃进行試驗，将其加热到 700°C 左右，保持較長時間，然后加以冷却，再用盐酸浸漬，則玻璃內的硼酸鈉即被浸出，剩下的几乎全部是硅酸，而且体积不变，存在多孔性，孔徑在 $20\sim 30\text{\AA}$ ，这说明氧化鈉和氧化硼与氧化硅之間的連系很弱，說明了玻璃內部结构的微不均性。

从以上的各种試驗，都証实了玻璃內部呈現微不均性，有极度变形了的微晶存在，此种微晶与結晶不同，但在一定程度上也反应出相应的正常結晶结构，这些較能看出的非規則的晶子和周圍組成玻璃的无規則结构間沒有界綫，粗略的估計，比較有規則部分約占全体的 $15\sim 10\%$ 。

3. 网状学說

由荷兰科学家扎哈里爱逊于 1932 年創立，基于玻璃的机械强度和晶体相似，他認為玻璃原子或离子間的結合力和晶体相类似，因此玻璃的結構也和晶体一样具有向各方向发展的網形，但是規律性比晶体的結構差。扎哈里爱逊应用上述理論解釋玻璃的特征：

- a. 原子的排列在各方向上統計地一致因此玻璃具有各向同性；
6. 由于沒有二个原子在結構上完全相同，所以分离每个原子所需要的能量也不能相同，于是玻璃就不象具有整齐晶格的晶体那样具有一定的熔点；
- b. 玻璃的結構網是无穷尽的，而且不太規則，所以不能以一定的簡單的化学式来表示；
- r. 为了使某种氧化物存在于玻璃态，它應該滿足以下各条件：氧化物以 G_xO_y 表示：
 - i. 每个氧原子应当与不超过二个 G^{v+} 离子相結合 ($vx = 2y$)；
 - ii. G^{v+} 离子具有不大的配位数；
 - iii. 玻璃在构成結構網时，含氧多面体只有公共角，而不能有公共边；
 - iv. 含氧多面体至少要有三个角和邻近多面体公有。

除上述四条件外，还必须使 G_xO_y 构成玻璃体的內能儲量不应太大于晶体 G_xO_y 的內能。

能符合上述条件的氧化物有： G_2O_3 ， GO_2 及 G_2O_5 ，例如 B_2O_3 ， P_2O_5 ， SiO_2 ， P_2O_5 ， V_2O_5 ， GeO_2 ， As_2O_3 ， Sb_2O_3 ， Sb_2O_5 ， Ta_2O_5 ， Nb_2O_5 等，在这些氧化物中 G 阳离子的配位数为 3 或 4， B^{3+} ， Si^{4+} ， P^{3+} 等离子称为玻璃的形成体。显然， G_2O 和 GO 型的氧化物不能形成玻璃态，但玻璃中是含有这些金屬离子的，这些离子一般位于網間空隙中，为了使網形結構具有一定稳定性，这些离子必須半徑大而电荷小，合乎这些要求的阳离子一般有 Na^+ ， K^+ ， Ca^{++} ， Pb^{++} ， Ba^{++} 等。

瓦倫根据倫琴射綫分析玻璃态二氧化硅及硅氧玻璃，得到 Si^{4+} 离子由四个氧离子包围， $Si-O$ 距离約为 1.62\AA ，而 $O-O$ 距离約为 2.65\AA 。

如果引入 Na^+ 和 Ca^{++} 等离子，某些 O^{2-} 离子間的鍵断裂，因此有的 O^{2-} 离子与二个 Si^{4+} 离子相結合，而有的 O^{2-} 离子只与一个 Si^{4+} 离子相結合。如图 1-1-4 所示

扎哈里爱逊与列別捷夫的学說之間的主要区别是列別捷夫認為玻璃內有微晶的存在，因此呈微不均状态，而扎哈里爱逊則否定这一点，認為是一片无規則的連續的網。

但是許多学者在以后的研究中发展了假晶学說，尤其用 x 射綫来研究时，发现在整个无規則中在很小范圍內是有規則的，因此我們称玻璃內部为近程排列，近程范圍約 20\AA ，如硅原子周圍有四个氧原子，所以是比較有規則的，但距离較远时就沒有規則了；同样的在金屬原子周圍在小范圍內氧原子的排列还是有規則的，但距离較远时也就沒有規則。

这样看来，这二种学說很有相象之处，微晶学說主張晶子本身是有規則的，而在晶子以外是无規則的，这也限于近程范圍。而在假晶学說中則把此种微晶称为近程排列。

在一九五三年苏联科学院硅酸盐化学研究所召开了关于玻璃結構問題的討論，列別捷夫院士認為这二种学說有很多共同之处，比較多的是名詞上的不同，因此我們可以得到对于玻璃的总的概念：玻璃內部結構存在着有規則与无規則二种排列。但对玻璃的結構的学說並非已經非常完善和成熟，尚需进一步研究，得出定量的数据，才能得到真正的統一。

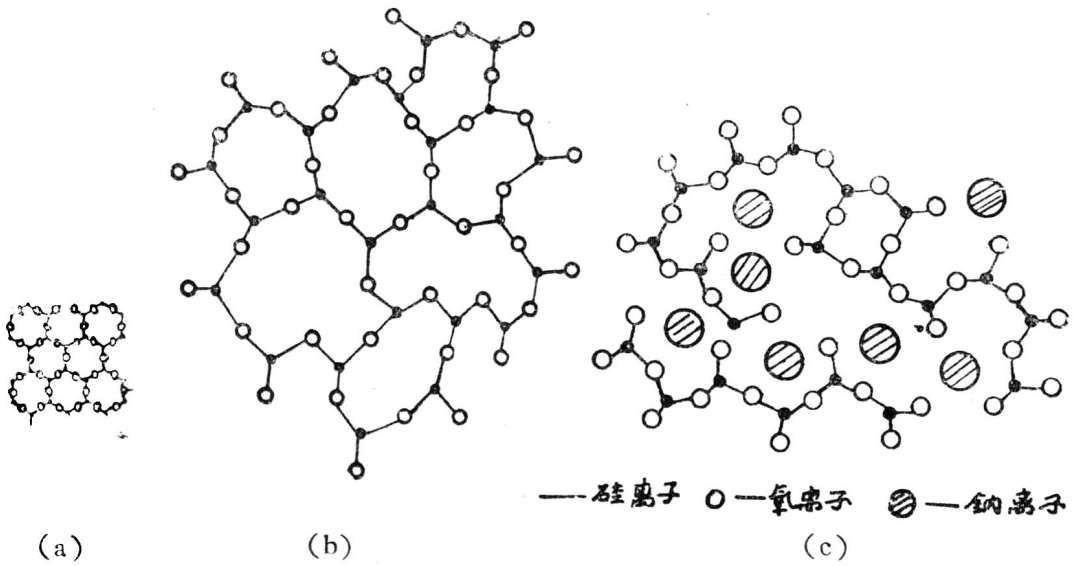


圖 1-1-4 石英結晶結構(a)石英玻璃結構(b)玻璃結構(c)

第二章 光学玻璃的性质

光学玻璃有着一系列的性能要求，主要包括光学性能、化学安定性、机械性能、热性能以及工艺性能。其中以光学性能最为重要，对于工艺性能，是由于光学玻璃热加工的要求而提出的。

§1. 光学玻璃的光学常数

光学玻璃的光学常数主要包括：折射率、部分色散、平均色散、色散系数、相对部分色散等，其中折射率与平均色散是光学玻璃最基本的光学常数。

光学玻璃的牌号主要是根据光学常数的不同来分类的，而光学常数主要决定于化学成分，因此，为了更好地了解光学玻璃的光学性能，有必要讨论上述三者之间的关系。

光学玻璃按照光学常数和化学成分的不同可分为冕玻璃和火石玻璃两大类。冕玻璃中主要含有 SiO_2 ，並含有一定量的 CaO 和硷金属氧化物，而不含 PbO 。火石玻璃主要含有 SiO_2 和 PbO 。每类中根据光学玻璃比重的不同又可分为轻、重、特重等各型，如轻冕、轻火石、重冕、重火石、特重冕、特重火石等。当光学玻璃中含有其他元素时，如银、硼、磷、氟等，又得到银冕、银火石、硼冕、磷冕、氟冕等。各国对各类玻璃所用的符号如下表所示。

表 1-2-1

种	冕	轻冕	重冕	特重冕	银冕	银轻冕	中银冕	重银冕	特银重冕	氟冕	硼冕	磷冕
苏联	K	ЛK	TK	CTK	BK						BK	PK
德	K (BK)		SK	SSK	BaK	BaLK				FK	BK	PK
英	C						MBaC	DBaC	EDBaC	FC	BC	PC
种	磷重冕	冕火石	轻火石	火石	重火石	特火轻石	特火重石	银火石	银火轻石	银火重石	短火石	铍冕
苏联		KΦ	ЛΦ	Φ	TΦ		CTΦ	BΦ			OΦ	
德	PSK	KF	LF	F	SF	LLF		BaF	BaLF	BaSF	KzF	ZK
英	DPK	CF	LF	F	DF	ELF	EDF	BaF	LBaF	DBaF		

当用英国牌号时，在符号之后往往連着一个六位数字，前三位用来表示折射率，其余表示色散系数例如 C525591，它代表此种冕牌玻璃的 $n_D = 1.525$ ， $\nu = 59.1$ 。

关于各种牌号光学玻璃的詳尽说明，可以查閱制造厂商的目录、国家标准等資料。

研究玻璃品种、光学常数和化学成分之间的关系时，可采用 $n_D - \nu$ 图，如图 1-2-1 所

示，以 n_D 为纵坐标， ν (即色散系数 $= n_D - 1/n_F - n_C$) 为横坐标，由于每一种牌号的玻璃均

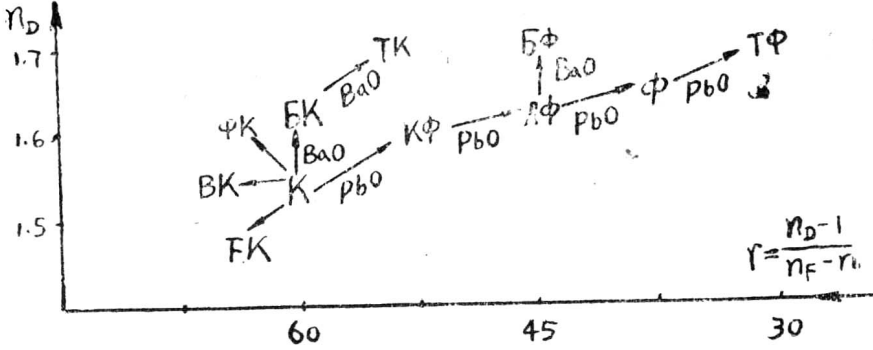


圖 1-2-1 $n_D - \nu$ 圖

有一定数值的 n_D 和 ν 值，因在此图上均占有一定的位置，並且各牌号与各成分之間都有联系，例如以冕玻璃为出发点，当冕玻璃的成分中不断增加 PbO 的成分时，将使 n_D 不断增加， ν 值不断减小，依次得到冕火石，輕火石，火石，重火石。当冕玻璃的成分中增加 BaO 的含量时，将使 n_D 增加，但 ν 值减小却較少，依次得到銀冕和重冕。輕火石中增加 BaO 时能使 n_D 很大增加， ν 值影响較小，得到銀火石玻璃。由此，可以得到結論： PbO 增加时，使 n_D 增加， ν 值减小； BaO 增加时，使 n_D 增加， ν 值的影响較 PbO 的为小。

近年来由于新元素特别是稀土金属在光学玻璃中的应用，因此，又添加了下列各类：氟、氟硼、稀土硼、氟氟、氟硅酸钛、氟磷等，这些品种在 $n_D - \nu$ 图上的位置如图 1-2-2 所示。由此可见，新品种光学玻璃的光学常数的范围远较原有各品种为大，因而，提供了对光学设计极为有利的新材料。

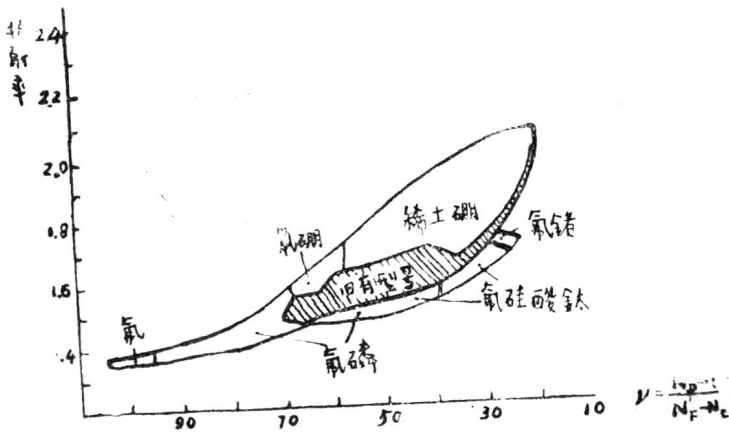


圖 1-2-2 $n_D - \nu$ 圖