

新型

姜中宏 主编

刘粤惠 戴世勋 副主编

光功能玻璃

XINXING GUANGGONGNENG BOLI



化学工业出版社

本书是根据光电子玻璃的研究进展,综合了国内外新型光功能材料研究的最新进展及成果而编写的。全书共分为 21 章,分别是:激光玻璃、稀土玻璃的光谱能级、稀土离子上转换发光及其研究进展、光子玻璃、激光通信用稀土掺杂的玻璃光纤、磷酸盐玻璃光纤、光子晶体光纤、飞秒激光诱导玻璃功能微结构、石英通信光纤等。各章分别为一独立的整体,并对各制备技术、制备工艺和方法等内容进行了详述。

可供材料专业研究人员及相关专业大专院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

新型光功能玻璃/姜中宏主编. —北京:化学工业出版社, 2008. 2
ISBN 978-7-122-02004-8

I. 新… II. 姜… III. 光学玻璃 IV. TQ 171. 73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 012782 号

责任编辑:白艳云

文字编辑:李 玥

责任校对:王素芹

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 16½ 字数 445 千字

2008 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

前 言

光子作为信息载体突破了电子响应时间长、传播速度慢、存在电磁干扰等瓶颈限制，许多科学家预言 21 世纪将是“光子世纪”，例如，光纤通信和空间光通信正在逐步代替电子通信；光盘存储和光纤互连已在电子计算机技术中普遍应用；激光雷达与激光制导已成为电子雷达与电子制导技术的重要补充；在显示技术、照明技术、印刷技术和办公室自动化中也已大量采用光子技术。光子技术的发展离不开光子材料，光子材料是指利用光子或光相互作用来实现信息产生、传输、存储、显示、探测及处理的材料。光功能玻璃，也有人称之为光子玻璃，是光子材料中研究较早、应用较广的一类。在激光玻璃出现之前玻璃只能作为一种传光材料，是被动的透明体或选择透过的透明体。但自从 1961 年 Snitzer 发明激光玻璃后，玻璃已经转变成为一种主动的器件或材料，它能在外界的激励作用下成为一种产生强光的元件或器件，从被动形式转为主动形式，从而使光学器件用途及原理发生了质的变化。

光传输一直是人类信息传输的一种重要手段，光纤通信因为获得掺稀土光纤放大器作为中继，使光成为现代通信最有力的工具。随着信息容量的爆炸性增长，宽带传输已成为很重要的研究课题。本书中的石英通信光纤、激光通信用稀土掺杂的玻璃光纤、硝酸盐玻璃光纤都属于专门介绍及讨论光纤传输方面的文章。强光与材料相互作用的研究也很多，从人体器官到原子内层电子与激光的作用都包括在内，但在本书中我们只讨论了非生物部分的激光与材料的作用。书中重点介绍了产生核聚变强激光的激光玻璃及其聚变原理以及世界各国这方面的最新进展，这一项目因为具有国防用途和可能是一条最终彻底解决人类能源的途径，促使各国高度重视并投入大量研究经费。强激光使光学材料与光学性质的改变不同于普通光

作用的结果，如激光能使材料折射率改变，它产生了不同于普通光引起的瞬间光敏作用，如光色玻璃（变色眼镜等）。在强紫外线作用下能使玻璃折射率改变达到 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 。这种折射率改变使 Bragg 光栅可以直接刻在光纤上，有关原理、玻璃成分及制备过程在“光敏玻璃”一章中进行了较为全面的叙述。在强激光及超短脉冲的作用下，材料中出现很多新的现象，近年来，这些新现象引起美、日、俄、英、中等国家科学家的关注。2003 年在中国上海召开的国际会议上，很多科学家讨论了这些新现象，在本书的“光子玻璃”一章中作了初步的报道，国际著名学者邱建荣教授为本书撰写了“飞秒激光诱导玻璃功能微结构”一章，从原理到最新进展作了精辟论述。

激光的出现除了增强对稀土离子光谱学的研究外，还出现了一些过去认为是不可能的现象：用长波长激光转换或激发出短波长激光，例如通过晶体可以出现二倍频、三倍频。又如通过激光材料的上能级转换可以激发出波长较短的绿光 (Er^{3+} - Yb^{3+} 双掺玻璃) 和更短的蓝光 (Er^{3+} - Tm^{3+} 双掺玻璃)。有关上能级转换的研究文章和报道很多，国内一些学校和科研单位的研究成果居于世界前列。在本书中专门编写了“稀土离子上转换发光及其研究进展”一章，作了较详细的论述。近年来发现一种称为光子晶体光纤 (PCF) 的新型光学纤维，它是一种由玻璃或塑料制成的光纤，光纤内按一定要求排列空气通道，使光进入光纤后一部分通过空气或液体传输，一部分通过固体传输。整个光子晶体光纤中其实并不存在晶体成分，其之所以称为光子晶体光纤，只是因为光在这种光纤中的传输与电子在半导体、禁带与导带中迁移相似。有关光子晶体光纤的原理、结构、制备以及出现的新现象、新用途可以参考“光子晶体光纤”一章。

激光的出现，对材料性质提出了更多新的要求，如在红外激光通信中透光材料中所含的 OH^- 是导致光损耗的主要根源，这在普通玻璃中是不需要特别关注的，但作为光通信光纤，除去玻璃中 OH^- 成为制备工艺中的关键步骤，因此在本书中将有关光学玻璃

中特有的工艺单列一章加以介绍。光学凝胶是近年来用途很广、发展迅速的光学材料，它既可以制成激光材料如可调谐激光器，也可以作为平面波导材料，同时也可以作为光学材料的表面保护层。“溶胶凝胶法新型光学玻璃”一章基本上将光功能凝胶中的荧光、可调谐染料激光、增透、保护、波导、非线性等方面内容都包括在其中。在 高能激光作用下，玻璃表面是最易被损害的部分，因此本书还特别提到了有关提高玻璃表面抗破坏的研究内容。另外，本书中还加入了激光出现后光学玻璃的新品种。这方面的资料详见“特殊光学玻璃”、“氟磷酸盐玻璃”和“氟化物玻璃”等章节。此外，由于 ppm 和 ppb 是表征光学玻璃中杂质含量和掺杂离子含量的主要单位，因此，在本书大部分章节中都保留了这种传统的单位。

本书的作者都是光功能玻璃研究方面的专家，对所研究课题的历史、原理及发展趋势有较全面的了解。参加本书编写工作的有中国科学院上海光机所的姜中宏（华南理工大学兼职教授）、蒋亚丝、唐永兴、张军杰、杨建虎；华南理工大学光通信材料研究所的张勤远、邓再德、杨中民、刘粤惠、杨钢锋、徐善辉、陈东丹；浙江大学材料系的邱建荣、周时凤、冯高峰、王丽、朱斌；同济大学的沈军、吴广明；宁波大学的戴世勋。刘粤惠老师和陈东丹博士为本书的出版做了大量的工作，在此一并表示感谢。

书中文章都出自各位专家之手，各章节自成体系，为使文章完整，一些原理和图表中出现的部分重复情况在所难免，敬请读者见谅！

编者
2008. 1

目 录

绪论 (姜中宏)	1
第 1 章 激光玻璃 (姜中宏)	11
1.1 概述	11
1.2 原理	14
1.3 激光玻璃的光学参数与激光参数	16
1.4 激光玻璃的成分及性质	18
1.4.1 硅酸盐玻璃	18
1.4.2 磷酸盐玻璃	19
1.4.3 氟磷玻璃与其他激光玻璃	29
1.5 掺钕激光玻璃的新进展	35
1.6 强激光中晶体能否取代玻璃	39
参考文献	40
第 2 章 稀土玻璃的光谱能级 (刘粤惠, 陈东丹)	42
2.1 概述	42
2.2 稀土离子的光谱能级	42
2.2.1 稀土元素和离子基态电子组态	43
2.2.2 稀土离子光谱项	44
2.2.3 稀土离子光谱能级	53
2.3 稀土离子光谱能级跃迁	58
2.3.1 Judd-Ofelt 理论	58
2.3.2 Judd-Ofelt 理论应用	61
参考文献	65
第 3 章 稀土离子上转换发光及其研究进展 (杨建虎, 杨中民)	68
3.1 概述	68
3.1.1 激发态吸收	69
3.1.2 能量转移	69

3.1.3	“光子雪崩”过程	71
3.2	常见稀土离子的上转换发光机制	71
3.2.1	Er^{3+} 离子的上转换发光	71
3.2.2	Ho^{3+} 离子的上转换发光	73
3.2.3	Pr^{3+} 离子的上转换发光	75
3.2.4	Tm^{3+} 离子的上转换发光	78
3.3	上转换发光材料研究进展	80
3.3.1	上转换发光研究现状	80
3.3.2	上转换发光材料研究现状	82
3.4	卤氧碲酸盐上转换发光玻璃	85
3.4.1	拉曼光谱特性	85
3.4.2	吸收光谱特性	87
3.4.3	上转换发光特性	89
3.4.4	荧光寿命	91
3.4.5	热稳定性能	93
	参考文献	95
第4章	光子玻璃 (戴世勋)	99
4.1	光子玻璃	99
4.2	光子玻璃在光纤通信领域 (光纤放大器、平面波导) 的应用	104
4.3	飞秒激光与玻璃相关材料的相互作用	109
4.4	玻璃的光谱及非线性特性	112
	参考文献	116
第5章	激光通信用稀土掺杂的玻璃光纤 (戴世勋)	117
5.1	概述	117
5.2	玻璃光纤作为光纤放大器增益介质的优点	118
5.3	稀土掺杂玻璃光纤种类	120
5.3.1	掺钪钨酸盐玻璃光纤	123
5.3.2	掺钪磷酸盐玻璃光纤	125
5.3.3	掺铊氟化物光纤	126
5.3.4	掺镨氟化物光纤	129
	参考文献	132
第6章	碲酸盐玻璃光纤 (戴世勋)	133
6.1	概述	133

6.1.1	硝酸盐玻璃组成	133
6.1.2	硝酸盐玻璃结构	135
6.1.3	硝酸盐玻璃热稳定性	137
6.1.4	稀土掺杂的硝酸盐玻璃光谱性质研究	138
6.2	掺钕硝酸盐玻璃光纤及其光纤放大器	141
6.2.1	掺钕硝酸盐玻璃光纤	141
6.2.2	掺钕硝酸盐玻璃光纤放大器	142
	参考文献	149
第7章 光子晶体光纤 (邓再德, 徐善辉)		151
7.1	光子晶体光纤的结构及其导光原理	151
7.2	光子晶体光纤的特性	153
7.2.1	无截止单模	153
7.2.2	大模场面积	155
7.2.3	高数值孔径	156
7.2.4	高非线性效应	156
7.2.5	优良双折射效应	157
7.3	光子晶体光纤的制造技术	157
7.3.1	细管捆绑法	157
7.3.2	群钻法	159
7.3.3	组合法	159
7.4	光子晶体光纤的应用	160
7.4.1	长途光纤通信	160
7.4.2	大功率传输	161
7.4.3	超连续谱的产生	163
7.4.4	光纤激光器	165
7.4.5	光纤传感器	167
7.5	光子晶体光纤的发展趋势	167
7.5.1	基础理论研究	167
7.5.2	特性探索及其应用	169
7.5.3	器件研发	172
	参考文献	174
第8章 飞秒激光诱导玻璃功能微结构 (邱建荣, 王丽, 朱斌)		177

8.1	概述	177
8.2	飞秒激光的特点	178
8.3	飞秒激光诱导玻璃各种功能微结构	180
8.3.1	微裂纹的可控空间排列, 实现玻璃内部的立体图像标记	180
8.3.2	利用诱导的色心的着色和发光, 实现彩色图像标记	180
8.3.3	基于折射率变化的光波导	181
8.3.4	空间选择性活性离子的价态操作	184
8.3.5	金属纳米粒子的空间选择性析出控制	187
8.3.6	玻璃中光功能晶体的空间选择性可控析出	188
8.3.7	光子晶体的制备	189
8.3.8	玻璃的三维打孔	190
8.3.9	利用线性干涉场实现单脉冲形成光栅结构	192
8.3.10	利用非线性干涉场实现玻璃的二阶光学非线性	193
8.3.11	单光束飞秒诱导的偏振依赖的纳米光栅结构	193
8.3.12	单光束飞秒激光诱导的沿激光传播方向形成的周期性纳米孔洞结构	197
	参考文献	200
第9章 石英通信光纤 (杨中民)		203
9.1	概述	203
9.2	历史回顾	203
9.3	光纤的传输特性	206
9.3.1	光纤导光的基本原理	206
9.3.2	光纤的损耗	206
9.3.3	光纤的色散	209
9.4	预制棒的制作与光纤拉制	210
9.4.1	预制棒的制作	210
9.4.2	光纤拉制	217
9.5	光纤的结构与类型	217
9.5.1	光纤的结构	217
9.5.2	光纤的类型	217
9.6	光纤的发展历程	218
	参考文献	221
第10章 光敏玻璃 (杨中民)		222

10.1	概述	222
10.2	光敏性机理	223
10.3	紫外辐照引起的折射率变化的测量	228
10.4	玻璃增敏技术	229
10.4.1	多种光敏元素共掺	229
10.4.2	工艺条件的控制	232
10.4.3	后处理技术	233
10.5	光纤光栅的应用	234
10.5.1	光纤光栅传感器	235
10.5.2	光纤光栅在光通信领域的应用	237
	参考文献	242
第 11 章	石英平面光波导 (张勤远)	245
11.1	概述	245
11.1.1	平面波导概要	245
11.1.2	石英平面光波导制备方法	246
11.2	感应耦合等离子体化学气相沉积法 (ICP-CVD) 石英平面光波导	248
11.2.1	ICP-CVD 石英平面光波导制备	249
11.2.2	ICP-CVD 石英平面特征	249
11.2.3	ICP-CVD Mach-Zeder 干涉仪	254
11.2.4	无温度漂移光波器件	255
	参考文献	256
第 12 章	溶胶凝胶法新型光学玻璃 (张勤远, 沈军, 吴广明)	259
12.1	概述	259
12.1.1	溶胶凝胶法概要	260
12.1.2	溶胶凝胶法光学玻璃的应用	262
12.2	溶胶凝胶法光学玻璃	263
12.2.1	溶胶凝胶法块状光学玻璃	263
12.2.2	溶胶凝胶法有机改性光学玻璃	264
12.2.3	溶胶凝胶法染料激光介质	266
12.2.4	溶胶凝胶法染料掺杂非线性光学材料	268
12.2.5	溶胶凝胶法半导体量子点掺杂材料	269

12.3 溶胶凝胶激光薄膜	271
12.3.1 激光减反膜	272
12.3.2 激光高反膜	275
参考文献	277
第 13 章 光致变色、电致变色玻璃 (杨中民)	281
13.1 概述	281
13.2 光致变色玻璃	281
13.2.1 卤化银光色玻璃	281
13.2.2 铜镉卤化物光色玻璃	286
13.2.3 其他光致变色玻璃	287
13.2.4 影响光致变色特性的因素	287
13.3 电致变色玻璃	291
13.3.1 无机电致变色材料	292
13.3.2 有机电致变色材料	297
参考文献	298
第 14 章 玻璃非线性折射率 (姜中宏)	301
14.1 整体玻璃的非线性折射率	307
14.2 掺杂玻璃的非线性效应	309
14.3 染料掺杂低熔点玻璃的发光和非线性性质	312
参考文献	316
第 15 章 超宽带光放大用玻璃和微晶玻璃 (周时凤, 冯高峰, 邱建荣)	317
15.1 概述	317
15.2 $ns^2 np^1$ 和 $ns^2 np^2$ 电子构型的主族金属离子 (原子) 发光中心的宽带发光	319
15.2.1 Tl^0 和 Pb^+ 发光中心	320
15.2.2 Pb^0 和 Bi^+ 发光中心	321
15.2.3 Sn^0 和 Sb^+ 发光中心	323
15.3 过渡金属离子掺杂透明微晶玻璃的红外宽带发光	323
15.3.1 Cr^{3+} (d^3 电子构型) 和 Cr^{4+} (d^2 电子构型) 发光中心	324
15.3.2 Ni^{2+} (d^8 电子构型) 发光中心	325
15.3.3 其他过渡金属离子发光中心	331

参考文献	333
第 16 章 特殊光学玻璃 (蒋亚丝)	338
16.1 法拉第旋光玻璃	338
16.1.1 费尔德 (Verdet) 常数	339
16.1.2 逆磁旋光玻璃	340
16.1.3 顺磁离子的能级及旋光性质	342
16.1.4 Pr_2O_3 、 Nd_2O_3 、 Dy_2O_3 旋光玻璃	345
16.1.5 CeO_2 旋光玻璃	346
16.1.6 Tb_2O_3 旋光玻璃	347
16.2 透明微晶玻璃	351
16.2.1 引言	351
16.2.2 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统	353
16.2.3 微晶玻璃组成	357
16.2.4 微晶玻璃的晶化	360
16.2.5 大型镜坯制造	364
16.2.6 微晶玻璃主要性质和质量	365
16.3 精密模压光学玻璃	366
16.3.1 精密模压光学玻璃的要求	366
16.3.2 玻璃组成对光学常数和 T_g 的影响	369
16.3.3 精密模压玻璃组成	369
16.3.4 精密模压的型料	377
16.3.5 精密模压	378
16.3.6 模压光学玻璃牌号	379
16.4 玻璃微珠	382
16.4.1 玻璃微珠在光学上的应用	382
16.4.2 玻璃微珠中的逆向反射	384
16.4.3 玻璃微珠组成	387
16.4.4 玻璃微珠和反光膜的质量指标	389
参考文献	391
第 17 章 氟磷酸盐玻璃 (张军杰)	394
17.1 概述	394
17.2 氟磷酸盐玻璃的分类与结构	395
17.3 氟磷酸盐玻璃的应用	400

17.3.1	紫外透过材料与消色差系统用光学器件玻璃	400
17.3.2	超短脉冲高能激光器用激光玻璃	403
17.3.3	上转换光纤激光器与光纤放大器	405
	参考文献	407
第 18 章	氟化物玻璃 (张军杰)	411
18.1	概述	411
18.2	氟化物玻璃的分类	412
18.2.1	ZrF ₄ 基玻璃	413
18.2.2	氟铝基玻璃	417
18.2.3	氟化钡基玻璃	420
18.3	氟化物玻璃的制备	423
18.3.1	直接熔制法	424
18.3.2	氧化物氟化法	424
18.3.3	反应气氛法	424
18.4	氟化物玻璃的光学及光谱性质	425
18.4.1	透光性质	425
18.4.2	氟化物玻璃的光谱性质	432
18.5	氟化物玻璃的析晶特性	434
18.5.1	常用的衡量玻璃热稳定性的指标	434
18.5.2	析晶动力学研究	435
	参考文献	438
第 19 章	多组分玻璃光纤预制棒制备和光纤拉制	
	(杨钢锋)	448
19.1	多组分玻璃光纤预制棒制备	448
19.1.1	管棒法	450
19.1.2	浇注法	452
19.1.3	热黏结法	456
19.1.4	挤压法	457
19.2	光纤拉丝技术	459
19.2.1	预制棒拉丝工艺	460
19.2.2	坩埚拉丝工艺	463
	参考文献	467
第 20 章	光纤基质玻璃除水工艺与原料提纯 (杨钢锋)	468

20.1 光纤基质材料除水	468
20.1.1 水在基质玻璃中的结合形式	468
20.1.2 水对基质玻璃性质的影响	469
20.1.3 多组分玻璃及光纤除水	473
20.1.4 反应气氛法除水工艺	474
20.1.5 反应气氛法除水工艺的热力学分析	478
20.1.6 反应气氛法除水工艺的动力学分析	481
20.1.7 石英光纤除水	483
20.2 原料提纯和杂质离子去除	486
20.2.1 杂质金属离子的影响行为	487
20.2.2 原料提纯工艺	488
20.2.3 激光玻璃的除铂	491
参考文献	493
第 21 章 应用于高功率激光器的溶胶凝胶膜层 (唐永兴)	495
21.1 光学玻璃元件多孔 SiO_2 减反膜 (AR)	496
21.1.1 涂膜悬胶体	496
21.1.2 多孔 SiO_2 减反膜光学性质	497
21.1.3 多孔 SiO_2 减反膜稳定性	499
21.2 激光倍频器磷酸二氢钾 (KDP) 晶体防潮膜减反膜	502
21.2.1 涂膜工艺控制	503
21.2.2 膜层性能	503
21.3 掺钽磷酸盐激光玻璃聚二甲基二乙氧基硅烷 (DMDEOS) 防 潮膜	505
21.3.1 涂膜液制备及性能	506
21.3.2 防潮膜性质	506
21.4 主放大器隔板玻璃宽带 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 宽带减反膜硬膜	508
21.4.1 胶体制备及其性质	508
21.4.2 折射率 1.88/1.40 和 1.90/1.44 双层减反膜的性能	509
21.5 高反膜 (HR)	511
参考文献	512

绪 论

光功能玻璃，也有人称之为光子玻璃，以激光玻璃的出现作为光功能玻璃与传统玻璃或光学玻璃的分界线。在激光玻璃出现之前，玻璃只能作为一种传光材料，是被动的透明体或选择透过的透明体。但自从1961年Snitzer发明激光玻璃后，玻璃已经转变成为一种主动的器件或材料，它能在外界的激励作用下成为产生强光的元件或器件，从被动形式转为主动形式，从而使光学玻璃用途及原理发生了质的变化，区别于过去的光学玻璃。

从历史的角度来看，最初阶段（约三千年前）玻璃与陶瓷的釉是相似的，它们都是附在陶瓷表面作为装饰品，如中国及中亚诸国出土的“蜻蜓眼”，见图0.1。研究陶瓷釉的学者称之为釉，研究玻璃史的人称之为玻璃或琉璃。另外一种类似的物质Faiens，则是在烧结的硅砂类材料表面涂一层釉（玻璃），这些都说明最早的玻璃起到与釉一样的作用，使器件表面光滑反光，

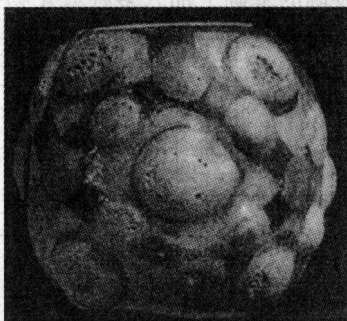


图 0.1 蜻蜓眼

从这一角度看玻璃与釉是同源的。只是后来进一步发展，两者才开始分道扬镳。玻璃发挥其折射率高、易融入色料且能单独成材的特点，走的是作为装饰品、仿宝石的道路（或装香料的香料瓶一类的装饰品）。如越王勾践剑镶嵌的玻璃和宝石饰物、仿玉的琉璃璧等。而陶瓷则走的是作为人们生活器皿的道路，使日用品的陶质容器在覆釉后更坚固耐用。从此釉一直作为涂层依附于陶瓷器的表面并不单独成器，而玻璃（或琉璃）则脱离表面涂层单独成为装饰品或者

侈品。

玻璃进入历史的第二阶段是人们利用玻璃的透光性及装饰性制成了装饰器皿和早期教堂的颜色镶嵌透光窗。直到 18 世纪，一方面由于社会上的要求，使玻璃在光学（如灯罩、灯泡、光学仪器等）、化学（化验仪器）等方面产生了新的要求；另一方面则因为玻璃具有很好的溶解其他元素化合物（矿物及氧化物）的能力，使玻璃性能得到长足的进步，其中最突出的例子是通过光学仪器对光学玻璃的要求，使玻璃的性能得到不断的提升。1800 年，法国光谱学先驱法朗荷夫（Fraunhofer）首先将其他化合物加入玻璃中，制成了新的玻璃。1871 年，英国的哈可（Harcoart）加入了一百多种元素化合物，制成了一百多块棱镜玻璃，但因均匀性较差还不能测出玻璃成分的改变对玻璃色散的影响。这些试验还不能表明玻璃的发展已进入光学玻璃时代。后来，德国的 Abbe 和 Schott 在硼硅酸盐玻璃的基础上加入多种氧化物扩展了玻璃的光学领域（见图 0.2），

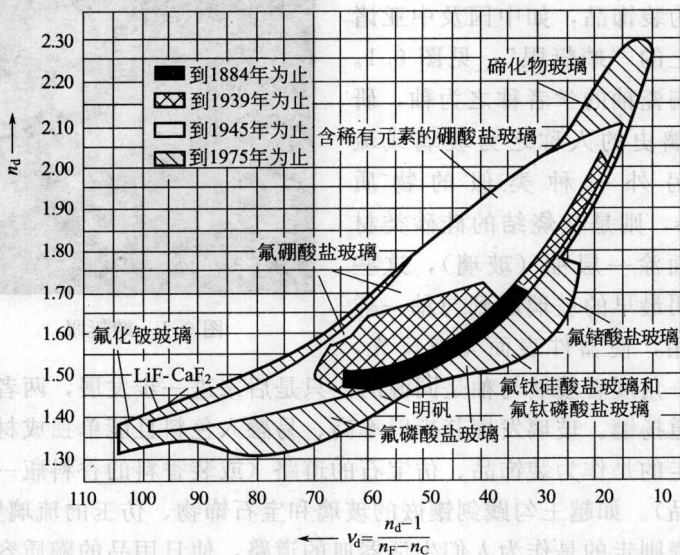


图 0.2 光学玻璃的发展阶段图

（从光学玻璃在阿贝提出的 $n_d - v_d$ 在图中的位置可判断此玻璃的光学特性）

使玻璃进入了科学研究的阶段。除了新发展的光学玻璃外，利用加入氧化硼使玻璃的化学稳定性、热膨胀系数和熔化温度得到改善，制成了化学仪器用的硬质化学玻璃，这些都是当时德国 Schott 公司的划时代贡献。

尽管 20 世纪 50 年代以前玻璃已进入一个快速发展的科学研究时代，但是玻璃只是起到一种透光和集光的被动光学材料的作用。直到 1961 年由美国 A. O. 公司的 Snitzer 在 $R_2O-BaO-SiO_2$ 的冕牌玻璃中加入了 Nd_2O_3 制成的玻璃丝首次获得激光，成为玻璃进入第三个历史阶段的里程碑。所谓激光，是一种受激发射的光，它不同于通常光源之处在于激光具有很高的亮度、单色性和相干性。在通常条件下，原子外层电子在不同能级的分布遵循玻耳兹曼分布，大部分粒子处于基态。通过激发将处于基态的粒子激发到上能级，使处于高能级的粒子数多于基态粒子数，即实现粒子数的反转，在受激条件下，使上能级的粒子快速跃迁到下能级，形成激光。在固体激光材料中最早实现激光发射的是红宝石。Maiman 利用红宝石制作了世界上第一台固体激光器。红宝石激光的发射属于三能级系统，激光阈值比较高（有些三能级激光材料只能在低温下才能产生激光）。掺钕的激光材料属于四能级结构，更易于实现粒子数的反转、产生激光。其激光阈值和效率都优于三能级结构的材料。

激光的出现使得光学玻璃从单纯的被动传光、反光、折光介质，变成为主动发光的介质和元件。和红宝石晶体不同的是，玻璃中掺铬并不能出激光，这是因为铬是 3d 结构，容易受玻璃晶格场干扰，而不能生成激光。Snitzer 在玻璃中加入三价稀土离子 Nd_2O_3 ，稀土离子外层电子是 4f5d 结构，对质点周围电场屏蔽较好，光谱因此保持狭窄的特性。Snitzer 在共振腔的设计中，利用掺钕玻璃丝的共轭端面，得到四能级的激光输出，发明了第一台玻璃激光器。该激光器无论原理、增益介质成分、器件结构都不同于 Maiman 的红宝石激光器。因为玻璃材料的场强较晶体大，到目前为止只有 4f 的稀土离子才能在玻璃中有效地实现激光输出。至于一些掺过渡元素的微晶激光玻璃，其实仍然属于晶体 3d 电子发出