

光学玻璃与 激光玻璃开发

[日] 泉谷 徹郎 著

杨淑清 译



兵器工業出版社

392002

光学玻璃与 激光玻璃开发

——一个玻璃研究者的历程

[日] 泉谷 徹郎 著
杨淑清 译

兵器工业出版社

3420/66

图书在版编目 (CIP) 数据

光学玻璃与激光玻璃开发 / (日) 泉谷 徹郎著; 杨淑清译. — 北京: 兵器工业出版社, 1996. 6

ISBN 7-80038-973-1

I. 光… II. ①泉… ②杨… III. ①光学玻璃-基本知识②激光玻璃-基本知识 N. TQ171.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 23304 号

兵器工业出版社出版发行
(北京市海淀区车道沟10号)
各地新华书店经销
北京市朝阳区隆华印刷厂印装

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.625 字数: 220.9千字

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

印数: 1—1000 定价: 15.50元

内容简介

本书共分八章，以讲座形式对玻璃及其形成，光学玻璃的研磨抛光、化学侵蚀、清洗、吸收与色散以及大功率激光玻璃及其制造方法，新型激光玻璃、固体激光玻璃的最新进展，硫属玻璃光纤与氟化物玻璃光纤、非线性光学玻璃与相变型存储器玻璃等从理论到实践作了全面详尽的论述。此书是作者一生发明创造、研究成果的总结，具有很强的实用价值。文章例证丰富，图解清晰明了，深入浅出，对于致力于光学玻璃事业的人来说是一本不可多得的好书。

本书适合于从事光学玻璃、激光玻璃和玻璃光纤科研和生产的科技人员阅读，也可供大专院校有关专业的师生参考。

此书献给立志于研究玻璃的青年人

果名徽郎

1993 年春

作者简介

泉谷徹郎先生早年毕业于京都大学理工科化学系，是一位工学博士，先是就职于大阪工业试验所，后又进入日本保谷 (HOYA) 玻璃公司，任该公司副总经理兼光学玻璃研究所所长。

泉谷徹郎先生从事光学玻璃和激光玻璃的研究开发工作 40 余年，投入了自己毕生精力和心血，硕果累累，对光学和激光玻璃的研究开发工作有着卓越贡献，是一位世界知名的光学玻璃专家。他曾先后获得日本陶瓷学会学术奖、激光学会进步奖、科学技术长官奖和紫绶袋奖 (天皇奖)。

1994 年泉谷徹郎先生被美国光学学会聘为特别会员。

泉谷先生在日本成功地开发了光学玻璃连熔技术，并以此为基础建立了保谷公司的光学玻璃连熔厂。我国成都光明器材厂引进的光学玻璃池炉连熔技术和生产线即为该厂的技术。他还开发了玻璃高精度压形和非球面透镜压形技术，成功地研制了掺钕磷酸盐玻璃、光纤玻璃、光存储器玻璃、稀土 (Yb、Eu、Tm 和 Ho) 激光玻璃和 Nd^{3+} 上转换玻璃等。

泉谷徹郎先生于 1993 年辞职。该书是在他辞职之前对自己一生发明、创造、研究成果的总结、归纳。

译者

1995 年春

写在《光学玻璃与激光玻璃开发》出版之际

我对拙著能够在中国出版感到非常高兴。

下面我想讲一讲书的问世过程。

我在保谷玻璃公司工作时，应电子事业部部长流川治先生的要求，以所开发的光学玻璃和激光玻璃为中心内容，包括光学与激光玻璃的最新进展在内共分八个题目进行了学术讲座。当时，技术科的工作人员菊池君对讲座录了音，后来，我又根据自己的讲义笔记和录音整理出了讲义集。1993年金子女士将我在保谷玻璃公司光学事业部昭和工厂的讲座讲义全部整理装订成册。在此基础上我又做了大量的工作将其修改成文章形式，即现在出版的《光学玻璃与激光玻璃开发》。

记得在保谷玻璃公司研究所听过我讲座后的许多人都说，这样好的内容不应仅仅是讲给保谷内部的人听，应该面向社会，对社会一定会有贡献。要求将其整理出版的呼声很高。为此，我特意征求了当时任光学事业部部长的长谷川俊士先生的意见，并得到了认可。

在《光学玻璃与激光玻璃开发》之前作者在日本曾出版了《光学玻璃》一书。该书已被译成英文、韩文、中文（中国台湾省出版）。此书也曾拜请北方设计研究院翻译室的杨淑清女士译成中文，但因为某种原因未能出版。作者对此深表遗憾。不过，可以弥补的是《光学玻璃与激光玻璃开发》中囊括了《光学玻璃》的精髓，而且还增加了许多新的内容（玻璃科学的进步）。我非常想将这本书献给中国人民，这次此书能够在中国出版也终于了却了这一心愿。杨淑清女士利用较短的时间将我的新书译成中文，此书得以出版和杨淑清女士的努力是分不开的。

在此书出版之际我还要向中国北方工业集团总公司外事局副局长王义斌先生的大力协助表示深深的感谢。王义斌先生是我在1983

年向成都光明器材厂输出光学玻璃连熔生产线时认识的老朋友。当时，王先生是中国北方工业集团总公司引进该项目的负责人。

无论是1983年向成都输出的光学玻璃连熔成套设备与技术，还是1978年年轻的保谷玻璃公司向北京603厂输出的眼镜片连熔炉技术，都是我们向中国提供的保谷玻璃公司的最新技术。中国在此基础上经过自己的努力，目前于光学玻璃领域内已完全达到可以和日本相匹敌的水平。

希望书在中国出版也好，向中国输出技术也好，我的愿望只有一个，就是“日中友好，永世和平”。从1979年起我所做的一切均起源于这一朴素的指导思想。中国人民的生活水平提高了，经济发展了，我的目的也就达到了。

除了上述提到的菊池先生、金子廉孝女士、杨淑清女士、王义斌先生外，在此我还要向对本书出版给予大力协助和支持的中国北方工业集团光电公司副总经理杨惠光先生、兵器工业出版社副编审何保武先生、湖北华光器材厂、北方设计研究院以及审阅过此书译稿的研究员罗楚华、高级工程师孟拓、工程师安艳表示深深的谢意。

祝愿日中两国人民永世友好！

梁石徽郎

1996年春

序 言

近年来，随着新兴科学技术的发展，如激光、原子能、航天技术、光纤通信和传输储存等方面的飞跃，普遍要求应用具有特殊性能的光电功能玻璃。而新技术的发展，也促进了光学玻璃生产工艺的革新，产生了新的工艺流程和制备方法。

《光学玻璃与激光玻璃开发》一书是泉谷博士多年从事研究工作和生产改革实践的总结，是作者从演讲稿整理而成，文章仍保留明显的演讲风格。他在书中追述了在大阪工业试验所时期对玻璃最初的印象，以及在保谷公司和美国利沃蒙（Libermore）国家实验室期间，对发展光学玻璃和激光玻璃提出的要求和作者分析关键技术问题的思维方法。

保谷公司在激光玻璃发展方面处于国际领先地位。作者研究新型激光玻璃的方法是力图将有关激光、光谱和光学参数与玻璃成分、结构基团之间建立起相应的关系，并应用现代科学中的化学键、晶格能、极化、配位体场和能带理论等知识指导新玻璃的探索。本书用了较大篇幅总结激光玻璃，在新光学玻璃方面，也介绍了保谷公司在红外玻璃、量子点非线性光学玻璃、稀土离子上能级转换玻璃和光盘存储合金玻璃的研究工作进展。

光学玻璃生产工艺的改革，是提高玻璃质量和产量、适应新品种光学玻璃生产的关键。18世纪以来，光学玻璃生产工艺的发展，经历了一个漫长的过程，由古典法、浇注法到近期普遍使用的连续熔炼。铂金连续熔炼工艺，最早见于特怀曼（Twyman）所著的《棱镜与透镜制造》一书。该方法是为了适应第二次世界大战军用光学仪器数量的剧增，经过数十年的改进，已成为光学玻璃生产的主要工艺之一。在此基础上发展成瓷铂连续熔炼生产工艺，并结合电熔、直接成型等工艺改革，使光学玻璃生产发展到一个新的阶段。泉谷先

生在《光学玻璃与激光玻璃开发》一书中叙述了光学玻璃的连续熔炼工艺，并着重研究了光学玻璃精密压型的方法和高光学均匀性(1×10^{-6})玻璃连续熔炼工艺的原理。这是作者最新研究课题的心得。对于传统光学玻璃加工技术的改革，是一个具有重要意义的课题。如何使传统的切割、研磨和抛光等费时费料的工艺发展到精密压型光学透镜、棱镜和非球面透镜，作者经过实验与分析，提出了保证压型精度的原理和必须的条件。非球面透镜精密压型工艺的成功，是光学玻璃加工技术的一个飞跃，在人力、物力等方面都有很大的节省，为非球面透镜的广泛应用，解决了生产制造难题。作者在研究玻璃压型的物理化学性质和检验技术外，在模具材料方面也做了有益的工作，为光学玻璃加工工艺现代化开辟了良好的前景。

《光学玻璃与激光玻璃开发》对从事光学玻璃生产和研究的科技人员，在了解光学玻璃和新玻璃发展的特定历程，探索新的工艺技术，可以从中吸取滋养。

玻璃是一门正在迅速发展的学科，还有大量的基础理论需要深入的探讨，同时还要不断地研究和开发许多具有特殊性能的玻璃，以及发展更为高级的生产工艺技术，以适应 21 世纪科学技术的发展。

姜中宏 金其鲁

1996 年 3 月 29 日

序

泉谷徹郎博士曾任保谷玻璃公司副总经理兼光学玻璃研究所所长。他把毕生精力献身于光学玻璃和激光玻璃的研究、开发和生产，取得了许多研究成果，是一位著名的光学玻璃专家。他研究和开发了光学玻璃连续熔炼技术、光学玻璃高精度模压成形技术及非球面透镜压型技术，并推广应用到工业生产上，不但节约了原材料，良品率可达 90%，而且大大提高了光学玻璃的生产效率。他研究开发了可应用于受控热核聚变反应的高光学均匀性的兆焦耳级大型掺铍磷酸盐玻璃、光纤玻璃、光存储器玻璃、稀土 (Ho^{3+} 、 Er^{3+} 、 Tm^{3+}) 激光玻璃和 Nd^{3+} 上转换激光玻璃等。他对光学玻璃的冷加工也有独到的见解。上述这些成就将给现代光学仪器设备，如光通信设备、激光加工设备、激光医疗设备、激光影视设备、激光军用（测距、指示、照明）设备、激光受控热核聚变反应装置等提供新材料和新技术，为现代光学工业、激光光电子工业、光通信工业等高技术产业的发展作出了卓越的贡献。

本书采用讲座的形式介绍了现代光学玻璃、激光玻璃、光纤玻璃、非线性光学玻璃、相变型存储玻璃的研究、开发和生产技术，是一门统一的学科，内容系统而丰富，理论和实践研究方法并重，介绍了本学科的最新发展和作者多年研究成果及工作经验，并介绍了怎样通过调研获得好的科学技术思路，再运用现代科学方法去解决实验和生产中的难题，脚踏实地登上科学的高峰。

本书内容对从事光学玻璃和激光玻璃学科的工程技术人员、研究人员以及大专院校的师生都是很有参考价值的。

西南技术物理研究所研究员

四川联合大学材料科学兼职教授

罗楚华

1995 年 1 月 18 日

目 录

序论	(1)
前言	(1)
0.1 光学玻璃	(1)
0.2 激光玻璃	(6)
0.3 结束语	(8)
第1章 玻璃及其形成	(9)
1.1 什么是玻璃	(9)
1.2 玻璃的形成	(14)
第2章 光学玻璃的吸收与色散	(20)
2.1 吸收和色散引起的思考	(20)
2.2 吸收和色散取决于什么	(23)
2.3 色散理论的应用实例	(43)
第3章 光学玻璃制造方法的改革	(48)
3.1 光学玻璃连续熔炼	(49)
3.2 透镜研磨抛光的革新——高精度模压成形	(53)
3.3 大型高均匀性光学玻璃连续熔炼	(63)
第4章 玻璃的研磨、抛光、化学侵蚀和清洗	(78)
4.1 抛光	(78)
4.2 研磨	(96)
4.3 化学侵蚀	(109)
4.4 清洗	(126)
第5章 新型大功率激光玻璃及其制造方法	(135)
5.1 激光器振荡原理	(135)
5.2 大功率激光玻璃	(137)
5.3 非线性系数小的激光玻璃	(147)

5.4	无热效应激光玻璃	(147)
5.5	激光玻璃遗留的问题	(159)
第6章	新型激光玻璃和固体激光的最新进展	(168)
6.1	过渡金属离子激光器	(171)
6.1.1	红宝石激光器	(171)
6.1.2	Cr^{3+} 可调谐激光器	(175)
6.1.3	Ti^{3+} : Al_2O_3 可调谐激光器	(175)
6.2	稀土类离子激光器	(178)
6.2.1	Er^{3+} 离子激光器	(178)
6.2.2	$1.5\mu\text{m}$ 激光器	(180)
6.2.3	$2.8\mu\text{m}$ 激光器	(180)
6.2.4	Tm^{3+} 激光	(183)
6.2.5	Ho^{3+} 激光	(183)
6.3	光纤激光器	(185)
6.4	上转换激光器	(186)
第7章	硫属玻璃光纤与氟化物玻璃光纤	(190)
7.1	硫属玻璃光纤	(190)
7.1.1	硫属玻璃的化学性质	(191)
7.1.2	硫属玻璃形成范围与非利普斯理论	(192)
7.1.3	硫属玻璃的光学性质	(196)
7.2	氟化物玻璃光纤	(205)
第8章	非线性光学玻璃与相变型存储器玻璃	(229)
8.1	三次非线性光学玻璃	(229)
8.1.1	有机和无机非线性材料的差别	(232)
8.1.2	含 CdS 玻璃的非线性	(233)
8.1.3	非线性光学玻璃的应用	(246)
8.2	相变型存储玻璃	(248)
8.2.1	相变型存储器	(249)

8.2.2	写入工序	(254)
8.2.3	介质间的重写	(256)

序 论

——苦苦跋涉于光学玻璃和激光玻璃 研究开发生涯中的往事

(日本) 泉谷 徹郎

前 言

历时约 45 年的研究生活于去年结束了。我从事的是光学玻璃和激光玻璃的研究开发工作。在 24 岁时我就立志要使日本的光学玻璃成为世界第一。大学毕业后我先在大阪工业试验所搞了 13 年玻璃研究, 后来又到大阪 (HOYA) 玻璃公司工作, 先后共经过 40 多年的努力, 终于实现了这一心愿。

1970 年发现了掺钕 (Nd) 的磷酸盐激光玻璃并研制出核聚变激光玻璃 LHG-8, 直到 1993 年我终于搞清楚了 A 系数 (自发辐射跃迁几率) 和玻璃结构的关系。

在研究过程中常常是发现已有物质的基本结构, 然后再根据这一结构进行预先研制、开发和制造新玻璃。总之, 想法也好, 发现也好, 最终都是在很多人的协助下获得成功, 付诸实现的。

我能从事上述工作达 45 年之久, 令人深感欣慰。

0.1 光学玻璃

1. 新型光学玻璃的开发

作为学物理化学的我在进入大阪工业试验所时对玻璃可以说一无所知。让我开发新型光学玻璃, 可我却不知玻璃状态是什么, 处

于非平衡状态的玻璃为什么会稳定。

根据“相变”理论对玻璃动态进行解释，我才明白了究竟何为玻璃状态。

为了制造高折射低色散玻璃、低折射高色散玻璃，搞清了如何既可大量生产玻璃而又不出现玻璃失透现象以及折射率和色散是因何而定的问题。

少量熔化(10g)玻璃可以不出现失透，但是，大量熔化，如2t，玻璃往往就会出现失透现象。

在实验中我以铂作成梯度温度炉熔化10g玻璃，然后从中找出无失透现象的玻璃组分。可以根据液相温度和玻璃组分的关系来确定最稳定的玻璃组分。通过上述研究也使我理解了光学玻璃之父肖特(Schott)公司的肖特(O. Schott)对光学玻璃18年的苦心研究。

对于折射率和色散，已清楚了决定折射率的不仅仅是密度，还取决于构成玻璃的氧离子，问题在于色散。研究表明，阿贝(Abbe)数(色散的倒数)与紫外线有关，因光吸收越向长波方向移动色散也就越大。问题在于玻璃紫外线吸收位于何处。该项课题的研究搞搞停停、停停搞搞，终于在1980年完成，持续了约30年。通过研究得知非桥氧的本征吸收因修饰离子而异，存在于7eV附近，桥氧的吸收存在于10eV附近。在研究中使用了筑波大学尾中先生的真空紫外分光光度计。

另外，为了准确地符合色散式，我觉得在极远紫外还应该有一个吸收。使用电总研公司的SOR装置通过玻璃证实了在19~24eV处有吸收存在。这使我有一种终于理解了光学玻璃色散式的感觉。不禁使我想起在大阪工业试验所时，发现玻璃中的气泡是由于原料中所产生的气体过饱和而生成、成长的事情，对以后所取得的玻璃研究成果起了举足轻重的作用。

2. 光学玻璃的连续熔炼

1962年我从大阪工业试验所转到保谷玻璃公司工作，开始就想

光学玻璃的连续熔炼却没有成功。光学玻璃的连续熔炼具有稳定的良品率，我研究它的主要目的就是为生产稳定。光学玻璃的特点是玻璃中没有条纹，用普通的玻璃池炉熔炼是达不到这一点的。肖特公司使用防腐性强的坩埚边搅拌边熔炼，得到了均质玻璃，其良品率高达30%。

当时的课题是基于何种原理才能实现光学玻璃连续熔炼。我利用三个月的时间走访了欧洲和美国的有关公司，得到很大启发。华盛顿国际玻璃会议结束后，我访问了NBS研究所，在该研究所的墙上挂着一幅照片，照片上所绘的是一个粘结在饭盒上的坩埚。面对这张照片我受到很大震撼。虽然我对透镜玻璃熔炼池抱有疑问，但是，面对NBS简单的玻璃熔炼装置我产生了或许这样的装置就可以用的想法。回国后我就开始了模拟实验。以穗坂君为主进行了一年多的玻璃熔炼实验，对滴料质量和流出管的关系以及滴料切断法等作了研究。在此基础上成立了小川小组，建起了月产5t的试验炉。其基本概念如下：

①把光学玻璃连续熔炼分成原料熔化池、澄清池、搅拌池、均化池，而不是单一的反应池。

②各池分别具有独自功能。

③通过管子将各池连接起来使玻璃液体沿一定方向流动（不使其倒流）。

结果就是将单一粘土坩埚熔炼工艺的时间空间改变成为同时进行的立体空间。该玻璃池炉完全不同于将热能损耗降为最小为目的的瓶玻璃和板玻璃连熔池炉。1965年，无条纹、无气泡的BK7玻璃终于从出口流了出来。作为研究人员的我真是感到无限喜悦。

3. 透镜的高精度模压成形

1971年是光学玻璃制造的基础研究时期。佳能提出要改进透镜压形品的形状精度。当时，手工压形的透镜精度为0.1mm，而金属模具的精度为0.01mm。为什么玻璃的压形精度比金属模具差10倍