

冰洲石偏光棱镜的设计与制造

高 宏 刚

摘要：简要阐述了研究冰洲石棱镜结构和毛坯下料的方法，介绍了棱镜设计程序的主要功用，并简单地叙述了棱镜制造工艺流程。

一、前 言

冰洲石是纯净的可以用来制作光学元件的方解石。冰洲石是双折射性最强的单轴负晶体；由它制作的偏光棱镜具有偏振度高、透过波带宽、透过率高及稳定性好等特点，因此目前所使用的偏光棱镜多是冰洲石材料的。用其它材料制成的偏光棱镜多用于方解石不透明的紫外区域。

冰洲石是一种很昂贵的晶体，但是目前由于在冰洲石棱镜方面存在着设计与加工的脱节，加工中无定量下料等缺陷，造成了很严重的浪费。

鉴于冰洲石这种天然晶体在光学器件中无可替代的地位及其设计与加工中存在的问题，本文以目前最常用的起偏及分束棱镜为例，从设计和加工两方面展开讨论。

二、常用棱镜的结构与主要参数

最常用的冰洲石棱镜有三种：Glan—Thompson、Glan—Taylor、Rochon棱镜，其结构如图1。

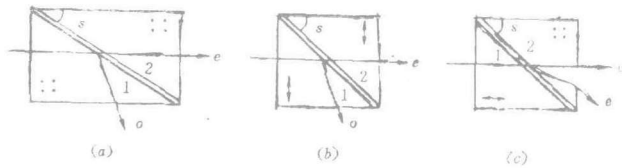


图1 (a) Glan—Thompson (b) Glan—Taylor
(c) Rochon图中标出了光轴方向

这三种棱镜均是由两半块组合而成，其中Glan—Thompson和Rochon棱镜以胶合剂粘合，Glan—Taylor棱镜是空气隙间隔的。

单色非偏振光入射到棱镜，分成 o 、 e 两束平面偏振光。在Glan型棱镜中， o 光在切割

面被全反射， e 光则从出射端射出；在Rochon棱镜中， o 、 e 两束光均可透过，并在出射端分离。

对一个棱镜通常标明的是它的有效孔径、视场角和切割角。有效孔径反映了棱镜的聚光本领，视场角和切割角决定了通过棱镜的光束所具有的最大角发散。另外，棱镜所使用的胶合剂和工作波段，强烈地影响着棱镜的视场角和透过率，也是重要参数。

三、棱镜透过率的计算

透过率的计算，主要依据是非涅尔公式和多光束干涉理论。

参照图 1 (a)，当单色非偏振光正入射于Glan—Thompson棱镜时，其透过率就是 e 光透过率，由入射端处、分界面①处、分界面②处、出射端处四项透过率之积构成。不考虑胶层厚度。

对Glan—Taylor棱镜的考虑同上，只是因空气隙厚度在加工时可以控制，应加以考虑。Rochon棱镜的透过率包括 o 光 e 光两个方面，要分别计算。

四、棱镜结构参量的计算

1. Glan—Thompson棱镜

(1) 半视场角

Glan—Thompson棱镜的半视场角由 o 光在切割分界面上全反射时的最小角或 e 光透过切割面的最大角来决定。结果由 o 光决定的半视场角为：

$$\sin(i_o)_{\max} = \sqrt{n_o^2 - n^2} \cos s - n \sin s \quad (1)$$

由 e 光决定的半视角为：

$$\begin{cases} \sin(i'_1)_{\max} = n \sin s - \sqrt{n_e^2 - n^2} \cos s & n < n_e \text{ 时} \\ \sin(i'_1)_{\max} = n_e \sin s & n \geq n_e \text{ 时} \end{cases} \quad (2)$$

其中： n_o 、 n_e 分别是冰洲石对 o 光 e 光的折射率； n 为胶合剂折射率； s 是切割角； i_o 、 i'_1 为光束在棱镜端面的入射角。

棱镜的半视场角是 $(i_o)_{\max}$ 和 $(i'_1)_{\max}$ 中较小者。

(2) 最佳切割角

由式 (1) (2) 知， s 变化时，必有一值使得

$$(i_o)_{\max} = (i'_1)_{\max}$$

此时半视场角最大，则该 s 为最佳值。

(3) 胶合剂折射率 n 的范围

n 的最大值和最小值分别由使 $(i_o)_{\max}$ 和 $(i'_1)_{\max}$ 为零的 n 值决定。结果，当切割角确定时 n 的取值范围为 $[n_e \cos s, n_o \cos s]$ ；显然存在着使半视场角最大的最佳 n 值。

(4) 切割角范围

当选定胶合剂后，同样存在着切割角的取值范围，保证一定的视场角。

2. Glan—Taylor棱镜

Glan—Taylor棱镜采用空气隙间隔，对某一波长其切割角被限制在一区间内，并存在着最佳值。

关于半视场角的讨论与 Glan—Thompson 类似，只是对由e光决定的半视场角，要以 n_o 和 1 分别替代公式 (2) 中的 n_e 和 n_o 。 n_o 是e光波法线折射率，要通过折射率椭球来计算。

3 Rochon棱镜 (参见图1c)

(1) 切割角范围

使正入射时，e光 o 光之一不能透过分界面②图1(c)的最大切割角，便是切割角的下限；其最佳值以光束偏向角最大为标准。

(2) 偏向角的计算只考虑正入射时的情形，与胶合剂的折射率无关。

(3) 半视场角

在计算半视场角时，要分别考虑分界面①②处的光线全反射情形，并分别讨论 o 光 e 光的半视场角。应注意的是，讨论e光线在第一半块中的轨迹时，要通过折射率椭球求e光波法线折射率。

(4) 胶合剂折射率在棱镜结构确定后也有个下限，并存在使半视场角最大的最佳值。

五、棱镜设计程序

基于以上对棱镜结构的分析，编制出了棱镜设计程序。把棱镜的设计与加工联系起来的参量有棱镜切割角、工作波段和胶合剂。运行设计程序，输入棱镜的工作波长等，可优化出最佳的切割角或胶合剂的折射率；最后将结构确定了的棱镜在各波段的透过率、半视场角、光束分离角等的理论值列出，供使用者参考。

表 1 是一个长度孔径比为 2 : 1 的 Glan—Thompson 棱镜在一个波带内的各种理论值。胶合剂采用 Sh-200 硅油，折射率为 1.4035。

六、棱镜制造工艺

棱镜制造的一个重要方面是冰洲石毛坯的尺寸选择。通过对研磨中毛坯去除棱长的分

表 1

波长 (μm)	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69
e 光半视场角	10.6°	10.9°	10.9°	10.8°	10.8°	10.7°	10.7°	11.1°	11.2°	11.2°	11.2°	11.2°
o 光半视场角	9.6°	9.3°	9.4°	9.4°	9.5°	9.5°	9.6°	9°	9°	9°	8.9°	8.9°
透 过 率	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%

析，可获得毛坯尺寸与棱镜尺寸间的定量关系。已知棱镜尺寸可获得所需毛坯的尺寸；反之亦然。这种选料方法也编入一程序中。在本课题中要磨制 2 : 1 的 Glan—Thompson 和 0.8 : 1 的 Glan—Taylor 棱镜各两块，其毛坯选择情况如表 2

偏光棱镜的加工工序如下：

- (1) 定光轴；
- (2) 将毛坯粗磨成长方体晶块，进行切割；
- (3) 用热胶法粘成棱镜条；

表2

长度单位: mm

棱 镜 尺 寸	毛 坯 棱 长	毛坯棱长去除	利 用 率
20 × 10 × 10	30	29	22%
8 × 10 × 10	30	29	13%

(4) 用石膏上盘法制作镜盘, 封蜡; (5) 对镜盘进行三道砂的精磨, 依次为: 302[#]、303[#]、303 $\frac{1}{2}$ [#]; (6) 抛光、胶合。

对冰洲石棱镜的抛光要用较软的沥青配方来制作磨盘, 抛光粉的粒度要非常均匀, 并且对环境要求较高。

胶合工艺于Glan—Thompson和Glan—Taylor棱镜有较大差别, 后者更为困难。

棱镜胶合完毕后, 要选适当的消杂光黑漆涂棱镜的非通光面; 然后小心地固定于夹具之内, 并保证棱镜通光轴与夹具机械轴在一定精度之内。

七、结 束 语

应用本课题研究的棱镜设计与制造方法, 磨制出(20 × 10 × 10) mm的Glan—Thompson棱镜和(8 × 10 × 10) mm的Glan—Taylor棱镜各两块。其加工精度如下:

面形精度: $\lambda/4$ ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$, 下同)

局部面形精度: $\lambda/8$

光束偏离角: $\angle 2'$

通光面粗糙度: $\angle 0.05 \mu\text{mRz}$

棱镜实际利用率比理论值稍大些; 其它设计指标均与实际指标相符。

The Design and Production of Ice-spar Polarizing Prism

Gao Honggang

Abstract

This paper presents an idea about the structure of ice spar prism and the method of stock cutting. A design program is turned out and It's function is introduced. The process of the production of ice spar polarizing prism is presented in the end of the paper.