



反射望遠鏡の智識 (5)

反射鏡製造準備

中 村 要

反射望遠鏡の主要部分である鏡に關した事を比較的丁寧に取扱つて見たい。筆者の目的は如何にして反射望遠鏡を使用すべきかにあるので製造法を書くのが主目的でないから記事を読まれる場合注意して頂きたい。

筆者は此の章を書くに當つて少なくとも充分な自信を持つて居ない。自分は漸く八十箇程の鏡より作つて居らず、此の深遠なる技術に僅かの經驗を得たのみであるが、熟練は經驗によつて得られるべく、又進歩する事も明らかである。尙ほ充分でないを知らながら根本的の動搖はない事を思ふ。

自分の方法は極めて制限された方法であるが、明らかにエリソン氏の方法に従つて居る。自ら此の方面に進んだ手引もなり又鏡面製造の標準となつたのは實に自用のエリソン 6.5吋鏡である。整形に關しては自らカルザー氏の作品を通じて殆んど總てを得たをいつて差支ない。

素人の鏡面製作について

星に興味を持つ人で望遠鏡の所持を望まない人はなからう。自ら天體用屈折望遠鏡を持ち、相當に經驗を持ち、更に進んで大きな望遠鏡を求める一方法として、反射望遠鏡を選んでも多くは經濟上の豫猶のある人が多い爲に、自ら鏡面製作を試みる人は少なく、完成せる望遠鏡を求める。一般に鏡製造を計畫する素人は、望遠鏡のない、従つて望遠鏡を使用した事のないものが此の困難な方法に進む場合が多い。従つて作業者の野心は實に大なるものである。製作作業は初心者には總て新しい經驗であり、忍耐を

要する作業である爲に失敗が多い。素人の失敗の原因は主として準備不充分による事が多く、望遠鏡に對する智識、殊に初步の光學の智識の缺けた場合が多い、甚だしい場合は焦點距離、反射望遠鏡の原理さえ了解せずに作業する人さえある、此れに伴つて誤解や無謀な作業が行はれ易い。

凹面鏡製造に一定の規則はない。然し規則はないと言つて其の方法は數百年間數多の技術者が凡ゆる方法を試みて、傳統的に進歩した方法で原理は簡單でありながら此れを自らの經驗のみによつて會得する事は不可能をいつてよい。鏡を凹面に磨く事は少なくとも手の使ひ得る人ならば出来るが、完全な拋物線鏡を作る事は如何程大部な參考書を讀んでも實行如何は作業者の能力による。

筆者は自ら多數の素人から得た經驗から大膽に次の事を述べたい。

鏡を作る事は困難な事で、成否は殆んど忍耐による。素人が最初の經驗で鏡を作る事は寧ろ困難であつて、最初の鏡面は練習の爲に小口径を選んで、次に希望する口径のものを試みた方がよい。しかも、此の階段を経ても所謂素人臭いものより出来ず、一流の製造者と等しいものが作り得るを考へるのは大間違ひである。素人が鏡を作る最後の目的は星を覗める事であつて、過大なる希望を持たずに此の最終目的の一部でも満足する爲に努力すべきである。筆者は今後、製造される方を失望させるかも知れないが、自分の知つて居る範圍で作業を始めて、星を觀測する程度に鏡を作り得た人は僅かに一割に過ぎず、非常な經驗の後、素人放れた鏡を作り得た人は僅かに二三に過ぎない事を附記しておきたい。素人が鏡を作る根本的な原因は自ら高價な完成鏡を求める事が出来ない爲に自ら作るのであるから、決して生温い方法をこつてはならない。

反 射 鏡 の 名 稱

拋物線鏡の名稱は略して言ふ場合には單に鏡 Mirror 或は凹面鏡 Concave Mirror と呼べば好都合と思ふ。Specula (或は Speculum) も同じく鏡であり著しく混用されて居る。ホリス Hollis 氏は硝子鏡は Mirror 金屬鏡は Specula と呼ぶ事を提案したが實行されてない、Specula は金屬鏡を意味する事が多いか、舊金屬鏡では Metallic specula と丁寧に言つて居る。

内地では、反射望遠鏡レンズ或は反射望遠鏡用對物レンズ等ミ鏡ミレンズの區別をしない、凹面鏡はレンズ形でも、光が硝子材を通過しないで反射鏡として使用するのでレンズとは言えず、鏡といふべきである。

硝子材 (Glass disc)

鍍銀反射鏡に於ては光學面は表面反射面であり、光が硝子面を通過しない爲に、屈折望遠鏡に使用される如き高價な光學硝子 Optical glass は鏡材としては有れば望ましいが、使用しなくともすむ。通常の商業上の目的に使はれて居る厚硝子が使はれる。然し最良のもののみが有効に使用し得るのであつて、無關係であるといふ理由で粗惡な硝子が使立つと言ふのではない。數萬分の一ミリ以上の綿密な光學表面を作り又攝氏40乃至零下10度に至る約50度の範圍にわたつて精密なる面を保持する爲には均質な硝子が望ましい。有名なリッチー氏は「粗惡な硝子が良き鏡を作るに充分であるを考へる程、大間違ひはない」を述べて居る。

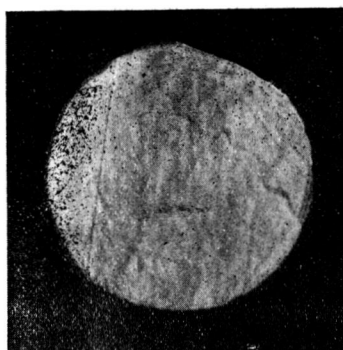
反射鏡の小さいものに使用される硝子は磨き硝子と稱せられる。硝子材料を融解後、一旦、鐵板上に流し込み、次に一定の厚さを保つ爲、ローラーを通して引延ばし、簡單な焼頓し Anneal が行はれて後に徐々に冷却せられる。冷却後表面及び裏面を金剛砂によつて播り平且にし、最後木にフェルト或は布を覆つたもので研磨される。従つて肉眼で凸凹の識別の出来ない程度に平面に見える。研磨方法によつては表面が極めて良好なものもあり、レモン皮の如く波を持つて居るものもある。硝子店で見受けるものは厚さ一時のものでは通常一米平方の大きさであつて此れから切斷されるのであるから比較的良い狀況のものである。表面近くに或は周圍に甚だしい不純物は少ない。磨き硝子は厚さ $\frac{1}{4}$ 吋より1吋半まで作られ、船舶、軍艦等の窓硝子等の商業上の目的に作られる。1吋 $\frac{1}{4}$ 、までのものは通常見當る。

硝子は光學的に言えばクラウン系統に屬し、屈折率はクラウンより低く1.5 以下である。比重は通常2.5 即ち同容積の水の二倍半である。光學硝子より著しく堅い。外觀によつて通常青硝子と呼ばれる。

厚板硝子の持つ共通な缺點が硝子が均質でない事は言ふまでもない。硝

子は一方向に曲つて居る。丁度圓筒の一部分の様な形状をして居る。硝子材には引出された方向に通常平行な脈理があつて、しばしば脈理と関係をもつた鏡面に變動を起す程度の歪を持つて一方向に弱點がある。ニコルによつて缺點を示さない硝子は少ないが、板硝子としては驚くべき良好なものが存在し、充分選擇すれば、使用に差支へない。

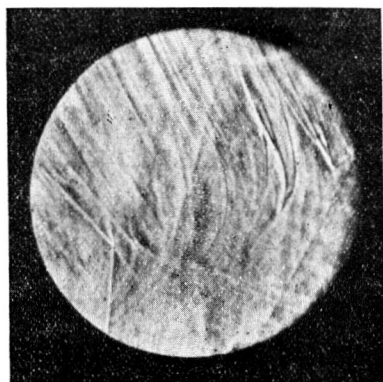
現在内地の硝子屋で見當る厚硝子は大體次の會社の製品である。



第 三 圖



第 二 圖



第 四 圖

佛	サンゴーバン	St. Gobain	水 晶 印
英	ピルキントン	Pilkington	丸 十 印
白	ユニオン	Union	ライオン印
(米	ピッツバーグ	Pittsburgh)	

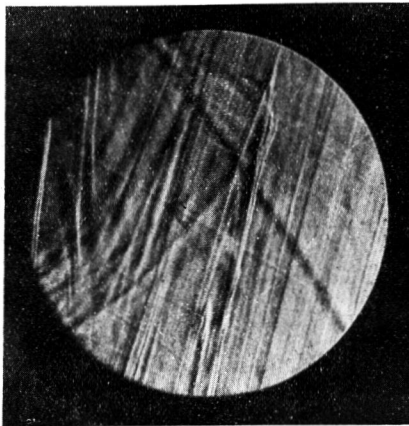
何れも使用し得るが製品によつて特性がある。

サンゴバン硝子 は硝子面の研磨が著しく粗悪なものが多く硝子は僅か黄色を帯び、比較的透明で、気泡は比較的少なく又比較的大きい。一般に硝子材は良いものが多いが、粗悪なものも多い。極めて強い脈理がしばしば存在し、筆者は購入した硝子の約四分ノ一は廢品にして居る。然し良好なものが多いため半數は此の硝子を使つて居る。硝子はビルキントンよりやや堅い。

英の有名な製造者故ウイスは鍍銀鏡の最初から特選したサンゴバン硝子を使用し、エリソンも賞用して居り、約六十年の歴史的な經驗上良質である事が知られて居る。

大口徑反射鏡用の硝子は殆んどサンゴバン會社のものであり井ルソン山 100 吋、60吋等の殆んど總てを作つて居る。

ビルキントン硝子 は比較的綠色を帯び比較的軟い爲に作業が容易である硝子の表面は最も良好であり、同質のものが得易いといふ理由で硝子販賣

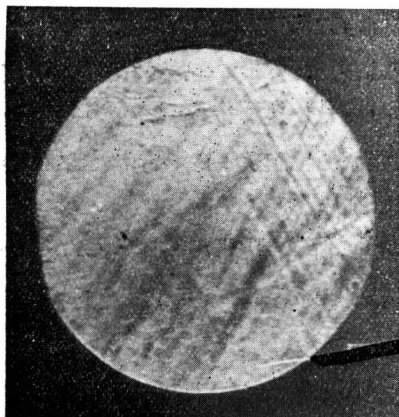


者が賞用する。硝子材には脈の數が多く一般にサンゴバン程良いものが無い様である。筆者は硝子材購入の都合で多くビルキントン硝子を使用したのが整形困難の硝子が可なり存在する。エリソンもビルキントン硝子は往々信頼出来ないといふ理由で使用を止めた。筆者の17センチカルズーはビルキントンの様である。

ユニオン硝子 は著しく青色を帯び著しく堅い爲に研磨に往々二倍の時間を要し、硝子材も多少質が悪く、素人は成るべく避ける方がよい。此の硝子を使つた經驗は極めて少いので硝子材の鏡面に對する影響にはまごまつた智識を持つてない。

反射鏡専門の硝子では英のチャンス Chance 光學硝子會社が光學硝子並に作つた Hard white crown を賣出して居る。充分信頼して使用する事が

出来、価格は厚硝子の約二倍と伝えられる。硝子材が厚さ一寸半以上のもの



のは圓形に一箇づゝ作られる鑄込み硝子 Cast disk で前にのべたサンゴバン社が有名である。エリソンによるミカルダーは小口径には普通の板硝子を使用した事が多いこの事である。

又十數年前英國に於て反射鏡の硝子材の事が問題にされた時に普通の板硝子で作つた鏡が總數の九割もある事が發表された。厚板硝子の持つ

缺點は後頁にあげるが、とにかく良質の硝子さえ選擇すれば、殆んど何等の困難なく、完全な鏡を作り得る。

少なくとも反射鏡では材料が安いといふ特長がある。屈折望遠鏡に於ては必ずしも最も嚴重に選擇せられた最良の光學硝子を使用しなければ好結果が得られない。

厚さ 硝子材には均質と厚さが等しく重要であるが、硝子材としては製作中の歪による困難や使用時の鏡面の變形を避ける爲に相等の厚さが必要である。鏡面に良質の Cast disk が使用された時には幾分薄い硝子が使用し得るが板硝子の如き硝子材には薄い硝子は使用に耐えない。

鍍銀鏡の初期。 鏡面試験の完全でない時にはウイス、ドレーバーの如き先覺者は厚さ一寸の硝子で十數吋のを作つた事もあり、殊にドレーバーの如き壓力による像の歪曲を詳細に研究して居る。然し其後厚い硝子の必要な事が知られ、現在大多數の鏡は直徑の六分の一の厚さが標準となつて居る平面検査等によつて表面の變形を調べるに六分の一の厚さは著しく外力に對し安全であつて、八分の一では影響が著しく大になる通常硝子は六分の一乃至七分の一の厚さである。十分の一では凹面は作る事が出来るが、良い面を得る事は望み難い。指頭の壓迫のみで容易に硝子の變形が起る位不安定であり、又幸に鏡を作り得ても自重、壓力の爲星像に變動を起し易

い、小口径の製作に僅かの費用を惜しんで薄い硝子を使用する事は考の無い事である。

レンズに於ては二面を持つて居る爲に一面の變形を他面に同様の逆の變形を與える爲に比較的影響が少く、反射に於ては光の反射で直接に且つ屈折するよりも強く影響するに比して、影響が少ない、硝子材による光の吸収を避ける爲に比較的薄くフリント、クラウンを加えて通常口径の6分の一即ち一面としては薄い。

硝子材の検査

硝子材は通常青ガラスを言はれる位であるから青乃至緑の色が強い、素人には購入後失望する人もあるが反射に色や泡の事は考慮する必要はない硝子材の氣泡も極めて少いのもあるが通常可なり多いもので素人には泡は一つの苦になる。氣泡の存在は脈理及硝子材の状態に外觀に同様の關係はなく氣泡の無い硝子でも著しく脈理の多いものがある。又小さな氣泡が表面近くにあつても研磨後表面に現れる事は偶然であり又、現はれても極めて小面積に過ぎない。氣泡の密集したり或は層を爲して居る場合何等かの不純物を豫想する事が出来るから注意すればよい。Cast disk で Anneal の良好なものでは硝子材中の石の如き雜物の存在は餘り差支えないが、板硝子に石があれば著しい脈理と同時に石から發する歪を伴ふから、若し左様な硝子であれば鏡にしない方がよい。

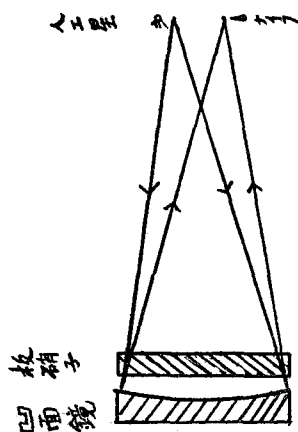
脈理の検査

板硝子には大なり小なり脈理は必らずあるもので特殊の光學検査でも行ひ得るが、素人が簡單に見るには、周圍が細かく播られたものでは、周圍を濕らせて見れば側面から位置と方向が決められる。可なり荒く播られて見難いものは周圍に油を付けて内部を見る事が出来る。完全な方法をしるなれば周圍を磨けばよい。

脈理は硝子材の中間よりも鏡面の出来る表面近の方が多いのであるから脈の少い側を選ぶ。脈理の多い側で鏡面を作れば何等かの形式で鏡面に特異な整形困難等が発生する。

凹面鏡による硝子の検査

厚板硝子は両面とも磨かれて居るので球面鏡：（拋物線でも差支なし）を持てば脈理の實狀が検査が出来る。フーコー試験の装置をして凹面鏡の直前に硝子を立てる。フーコー試験同様焦點を見出して小刀を使えば硝子脈は其のまゝ見える。硝子材の部にあげたのは此の方法でとつた寫眞であつて



(1) ビルキントン15センチ厚25ミリのものので平行な脈が見え、中央横に極めて強い糸様脈が見える。鏡にするに適しない。ビルキントン硝子の脈の特長をよく示して居る

(2) サンゴバン9センチ厚15ミリで、強い曲つた二條の脈があり不良品である。但し他の部分は良い。

(3) サンゴバン12センチ厚18ミリで表面の研磨波の外脈は僅か細いものが一條に過ぎない。良好な硝子である。

(4) サンゴバン15センチ厚25ミリ、脈が中斷されて居る。此れは盤として使つた。

(5) 表面の研磨波は多いが脈は少い。鏡には出来る硝子である。ユニオン硝子で径15センチ厚25ミリである。

以上の例の様に硝子表面の平且さが同時に見得る。研磨不良のものはサンゴバン硝子に多いが脈は區別出来る。人工星の像を見れば可なり亂れては居るが脈も少く面も比較的良いものでも歪 Stress の多いものは像を甚だしく亂すから、像によつてストレスの存在も知り得る。

歪 Strain の検査

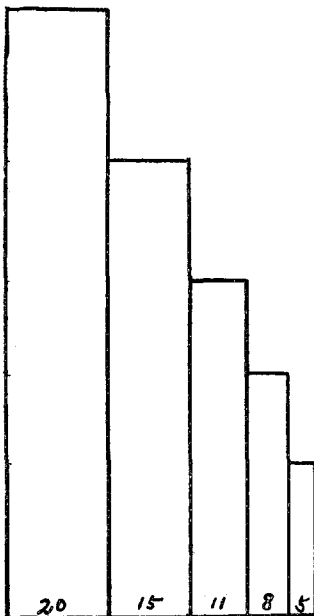
平行光線を入射角 53° に受けた黒硝子で反射した光をニコル Nicol's prism で受けて、ニコルを、反射鏡の中間に硝子をおいてニコルを回轉して視野が黒くなつた時に硝子材に歪があれば、歪の程度に應じて硝子が着色される。筆者は總ての硝子に此の検査を行つて居つて不良なものは使用していない。歪の甚だしいものは製造困難は言ふまでもなく、製造後、面の亂れる事さへある。此の検査は必らずしも必要でない。最小型のもので二十圓近

く値するので誰れでも出来ない。

硝子材の重量

次表は比重を 2.5 とし概算したものである。

直 径	厚 さ	重 量(キログラム)
50 ミリ	2	0.04 約10匁
80	3	0.16 40
90	$3\frac{1}{2}$	0.24 60
110	$4\frac{1}{2}$	0.43 120
150	6	1.1 300
200	8	2.5 670
250	10	5.7 1500
300	12	2.9 2貫500匁
500	20	3.4 9貫
1000	40	5 390 約100貫



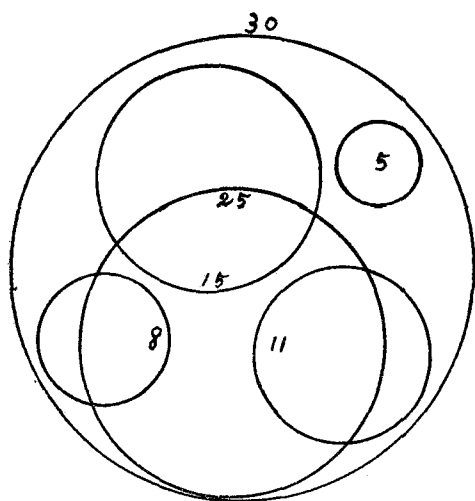
表の如く一定の厚さを持つた硝子は直径の三乗に即ち口径が 2 倍になれば 8 倍になるので、非常な率で増加し、重量が半キロまでのものは作業が楽であり、片手研磨には約一キロ以上は困難である。30センチ(12吋)が手で磨き得る最大限度であり、此れ以上は器械を要する。二圖は各口径の側面及表面の比較である。

硝子材の購入

以上の如き知識をもつて硝子屋から厚硝子を求める。厚硝子は特殊な用途のものであるから貿易港なれば問屋は通常持合はせて居る。厚さ及び直径を指定し硝子材の周囲を丁寧に掃る事を条件として

求める。硝子材は一面でなく一箇の鏡を作るには二面を要する（製作法参照）標準は、

直 徑	厚 さ		吋、一面の價格
8センチ	12ミリ	$\frac{1}{2}$	約 1圓
11センチ	2センチ	$\frac{3}{4}$	約 2圓
13	2センチ強	$\frac{7}{8}$	約 2圓50錢
15	2センチ半	1	3圓
20	3センチ	$1\frac{1}{4}$	6圓



大抵の硝子屋は硝子を完全に播つてくれない。注文時に注意しないで貝殻狀破れ目を残しておく。又場合によれば硝子面の表面を内部にかく様な事もある。理想通りに硝子材を作つてくれない。

硝子材の外観は人の好きづきであるが、出来得る限り美術的に出来て居る事は望ましい。

硝子材の處理の要件

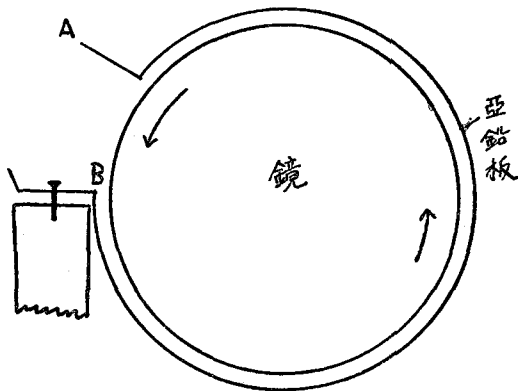
鏡面にする側には龜裂があつてはならない。又硝子材は出来得る限り丸い方がよい。殊に鏡の側になる面は眞圓近いがよい、正確なる鏡面製作に不規則な周囲をもつた硝子からは廻轉表面 Surface of revolution は出来ない。外周に従つて不規則な面が出来る。又硝子材の角は充分美しく作る必要がある。荒い砂で播り取つたものでは研磨を始めた時は或る失望すべき事が起る。従つて周囲の切り放ちの播つてない硝子材は不適當であり、又鏡面とする一面の角は充分細かな砂で仕上げ表面は眞圓近く作つておきた

い。

角の仕上げには細かな砂を板硝子につけ手で綿密に作つてもよく、或は亜鉛板で四十五度の圓錐を作つて其の廻轉で丸い表面を作つてもよい。

硝子材の丸播りの方法

硝子材の周圍の播り方は種々あるが次の方法も有効である。完全な丸播りには旋盤或は代用器械で高速度で廻轉するものが必要である。硝子材をピッチで廻轉盤に取付け正しく中心を合はせる。幅の廣い亜鉛板を曲けて下圖の様な整置をする。終れば硝子を高速度で廻轉せしめ亜鉛板の端 A を指で持ち適度の壓迫を加え、B より約 100 番のカーボラダムを水ご混じて多量に流し込む。遠心力で液の飛ばない程度の速力で作業すれば自動的に殆んど眞圓に近いものが出来る。適度の作業後、硝子亜鉛板を洗つて更に細かな砂 220 番で仕上げる。角は周圍に細かな砂 3F をつけ亜鉛板の一片を角に當てゝ廻轉すれば美しい角が出来る。かなりの技巧と熟練を要する作業であるが、仕上つた硝子材は全く見異える程の美術的なものになる。



硝子材の角は常に角を45度で作つておかねばならぬ。鋭い角をもつたものは堅い物體に當つた場合、思ひがけない大きな缺口目を作るものである。硝子の保護上必要であつて、約一ミリが適當であり深い程良い。鏡になる

面の角は磨いた方が適當である。有名なウイスは硝子周を總て磨いて居る。

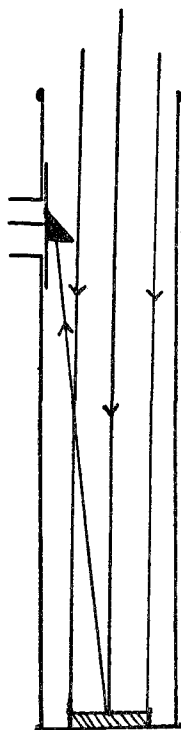
製作目的として次の四種の鏡を選んでおきたい。

口徑15センチ 焦點距離 f 8 1.20 米

11センチ	同	f 10	1.10 米
8		f 9	.72
5		f 15	.75

以上の四箇を標準として短、長焦點等の操作について記事を進めておきたい。筆者は読者が何れの口径を選ばれるか此れは自由にしておきたい。但し前記の如き注意を精讀の上決行せられたい。15及11センチは研究用の口径であり、8及5センチは素人の觀測用として適當である。

8センチはニュートン式の最小口径であつて、日本光學工業會社の9ミリ(45度)を使用するに適當な焦點距離がみつてある。720÷9=80倍で、月及び太陽が視野に同時に見え、しかも遊星の觀察にも適する倍率である。種々の觀察用として又、製造容易の點より見て素人の最初の經驗として適當である。



5センチは筆者の考察した新型であつて、ハーセル式をニュートン式に混用した圖の如きもので、像の歪曲を避ける爲にf15がみつてある。最も廉價に製造し得、素人の天體觀察用として適した型である。巧に作れば木星の帯、土星輪の如きは明瞭であり、月太陽の觀測に適當である。

購入する硝子材は

口 徑	徑	厚 さ
15センチ	154ミリ	6吋 25ミリ 1吋
11センチ	115ミリ	4 $\frac{1}{2}$ 吋 18 4分ノ3吋
8	83	3 $\frac{1}{4}$ 吋 13 2分ノ1
5	54	2 $\frac{1}{8}$ 8-10 8分ノ3吋

5センチの硝子は多分、何處の硝子屋でも求め得ると思ふ、出來得れば10ミリ、8ミリより厚いものが良い。若し無ければ、窓硝子用の、厚硝子の比較的厚い四分ノ一吋板、約7ミリのものでも間に合ふ。

最初の鏡製作に失敗した時の失望を味ふ代りに、カルザーやベンソン等がすゝめて居る方法がよいと思ふ。即ち同時に二組の鏡を作り始めて、同焦点距離にし、進むに従つて一箇の鏡は他のものゝ標準以上に達しなければ他のものに着手しない様にすれば比較的間違ひが少い。餘りに制限された方法で行ふ程失敗も多い。

硝子店

東京市京橋區銀座二丁目

酒 井 硝 子 店

神戸市多聞通四丁目

桑 田 硝 子 店

大阪市東區順慶町三丁目心齋橋筋東入 山 田 硝 子 店

上記の内 東京の酒井商店が最も丁寧である。

サンゴバン社で作つて居る Cast disk はゼネバの製造家シエール氏の山本博士に宛てた書面によれば標準直經は 850, (30吋), 920 (24吋), 425 (16吋), 325 (13吋), 215 (8.5吋) ミリであつて、厚さは總て直經の六分の一であり、通常製造に三箇月を要する。徑一米即ち 39吋 のものは現在製造しないそうである。價格は 620 ミリは 130 ドルで鏡材として工作されたものは 700 ドル 850 ミリのものは原材 450 ドル、工作されたものは 1440 ドルの由である。

Cast disk の脈理の特長は、厚板硝子と異つて脈が同心圓になつて居り、周邊に近い所に脈の多いのが普通である。

追加 日本光學工業會社製のケルナー接眼レンズ去る八月頃 同社の高級天體望遠鏡發賣中止に共なひ、製造を中止せられ入手不能もなつた。東京市外駒澤町上馬引澤一四三 五藤光學研究所で ハイゲン 25, 12.5, 6 ミリ及びケルナー 25, 12.5, 及びオルソスコピック 6, 4 ミリが製造せられる。詳細は同所について問合せありたし。