

焼付及び鍍銀により反射回折格子を作る方法

今 堂 健 雄

今日分光の目的に分光器としてプリズム、回折格子(Diffraction grating)等が用ひられてゐる。プリズムはその使用の目的により硝子、水晶、螢石、岩鹽等で作ったものを用ひる。回折格子も普通の線條回折格子の外に、その使用の目的により Echelon 格子等が用ひられる。線條回折格子には平面並に凹面の二種があり、更に平面回折格子には反射及び透過の二種がある。一般に回折格子はプリズムに比して、そのスペクトルの分解能が大で、又回折格子はその各色に對する分散度が一樣であるがプリズムは是と異り、スペクトルの赤の側で分散度小さく紫の側で大である。生ずるスペクトルの光の強さはプリズムの場合は格子のより遙に大である。回折格子によつて出来るスペクトルはその性質上、數次のスペクトルが重り合ふ。この重り合ふことは波長を比較測定するには都合がよいけれども他の目的には返て不便である。今日用ひられてゐる線條回折格子は一時につき約 10000, 15000 及び 20000 本のもので、場合によつては是等より線の粗いもの又はこまかいものを用ひる。

1821 年 Franhofer が眞鍮の枠に銀線を巻きつけて回折格子を作つた、是が光學的回折格子の最初のもので格子間隔は 0.6863 mm から 0.0528 mm (一時につき約 40-50 本)のものであつた。Franhofer はこの回折格子を使つて太陽の黒線を研究した。次いで彼は平面硝子板に線を引いて回折格子を作ることに成功した、その格子間隔は 0.0033 mm 及び 0.010 mm (一時につき約 10000 及び 2000 本)。其後 Ångström は Nobert が

(26)

(今堂健雄) 焼付及び鍍銀により反射回折格子を作る方法

刻んだ硝子格子を太陽スペクトルの研究に用ひた、又 Cornu も Ångström と同様 Nobert が引いた回折格子を測定に使つた。是等が回折格子を研究上に用ひた最初で、今日使用されてゐる回折格子の魁をなすものである。

この種線條格子は New York の Rutherford によつて一段の進歩をなした、彼は最初硝子板上に格子を刻み是に鍍銀を施して反射回折格子を作つた。彼は又磨いた金屬面上に格子を刻んで優秀な反射格子を得た。Rowland は正確な螺旋を切ることによつて極めて優秀な格子を作り、一時につき 100000 本のものをも作つた。彼は又 1882 年に合金スベキュラム メタルで作つた凹面鏡に格子を刻んで凹面回折格子を作つた。

この格子の線條を正確に刻むことは極めて困難なことで、その機械は精巧なものであり又装置も複雑である。その最も重要な部分は勿論螺旋である。この線條は金剛石の尖端を磨いた金屬又は硝子板上に動かして作り、格子の線條の幅並に格子間隔は夫々一様であり、各線條は互に平行な直線でなければならぬ。従てこの種回折格子は高價なもので専門家の研究以外には餘り用ひられてゐない。

平面回折格子の復寫は 1872 年 Strutt によつて行はれたのに始まり續いて Lord Rayleigh が主に焼付の方法によつて復寫した、後英國の Thorp、米國の Wallace¹⁾ 續いて米國の Ives が押型の方法で復寫回折格子を作つた。今日復寫回折格子は金剛石で刻んだ回折格子の代用として廣く用ひられてゐる。Wallace²⁾ は火藥綿をアミルアセテートに溶し、このコロヂオンを水中に沈澱させ生じた沈澱綿を再びアミルアセテ

1) Phil. Mag., [4] XIII, 469 (1882).

2) Astrophys. Journ., 22, 123 (1905). Astrophys. Journ., (1903).

ートに溶したものを材料として押型を行つた。このコロチオンを金剛石で引いた回折格子の上に薄く布き充分乾いた後は是を剥ぎ取つて他の平面硝子或は使用の目的により水晶又は雲母板に貼りつけるのである。

猶復寫回折格子は種々の方法で試みられてゐる。Elihu Thomson¹⁾は硝子回折格子に鍍銀を施し更に銅鍍金をなし是を温め乍ら原板から離して反射回折格子を作つた、又上の銅鍍金の代りに或種の接着剤を使つて他の硝子板に貼りつけて原板から離した。其他硝子回折格子又は等距離干渉縞を寫真式に重クロム酸デエラチン等に寫す方法が試みられた。Gehreke 及び Leithäuser²⁾は真空管内で Thorp 等の復寫回折格子に金屬鍍金を施して反射回折格子を作つた。

1893 年に前に述べた Rayleigh³⁾は主に寫眞の焼付の方法を用ひて復寫回折格子を作つた。そのうちで最も成功したと言つてゐるのが重クロム酸デエラチンの方法と土瀝青の方法とである。重クロム酸デエラチンの方法と言ふのは重クロム酸加里をデエラチン溶液に加へ是を硝子板上に適當に布いて感光板とするのである。硝子に引いた回折格子又は Wallace 或は Thorp 等の硝子に貼りつけた復寫格子を上感光板に密着させて焼付けるので光に感じた部分は溶解性を失つて硝子板上に残り美麗なスペクトルを現はす。土瀝青の方法とは土瀝青をベンツオールに溶したものを硝子板上に布き是を感光板として焼付けテレピン等で現像するのである。

著者は 1925 年京都帝國大學物理學教室で木村教授の指導を受けて Rayleigh の行つた重クロム酸デエラチンの方法を試み、更に是に銀鏡を施すことによつて優秀な復寫反射格子を作ることに成功した。以下

1) Science, 13, Jan. (1901).

2) Verh. der Deutch. Phys. Gesell., 11, 310 (1909).

3) Nature, LIV, 232 (1896).

(23)

(今堂健雄) 焼付及び鍍銀により反射回折格子を作る方法

著者の實驗について述べる。適量量の重クロム酸加里をヂエラチン溶液に加へ是を極めて薄く硝子板に塗布して感光板とする。是を硝子に引いた回折格子(著者は最初一時につき 3000 本一時平方の格子を用ひた)と密着させ太陽の直射に二分乃至三分間曝射する。人工的光源を使用するときには、その光の強さに應じて適當に曝射時間を加減する。次いで是を湯で現像する、原板の線條即ち溝に相對する部分は光を受けず湯で溶け去り、線條と線條との間の部分に相對する部分のみ光を受けて溶けずに残り、原板と同様な線條を有する回折格子が出来、スペクトルを現はす。Rayleigh は一時につき 3000, 6000 本を引いた硝子格子を復寫して、ときには原板より優れたものを得たと述べてゐる。著者も亦優秀なものを作り得た。更にこの光に感じた重クロム酸ヂエラチンは水には全く不溶性なるは勿論、化學的に強靱な膜である。猶この膜の適當に處理されたものは丁度硝子磁器の面と同様是に銀鏡を施し得ることを見出した。この重クロム酸ヂエラチンの復寫格子に銀鏡を施せば是は銀面による反射回折格子である。銀鏡を施しても格子の構造は少しも破壊されることなく、スペクトルの光の強さは非常に強くなるのである。かくして元の回折格子の透過によるスペクトルより光の強さの強いものを得るのは容易の事である。

銀鏡を施すには普通用ひられてゐる方法、即硝酸銀、苛性加里及びアムモニアで所謂銀液を作り、是に還元劑として氷砂糖を作用させるものを採用した。銀鏡を施すには充分な熟練を要し、重クロム酸ヂエラチンの膜は充分薄くなければならぬ。充分な銀鏡を施すに必要なことは感光板を作製してから焼付までに少くとも一晚放置すること、作製後間もない感光板を用ひて焼付けたものは是に充分な銀鏡を施すことが出来ない、又作製後餘り時日を経過した感光板は焼付が良好

でない。

著者はこの方法で更に一層線の細かいものに應用した。この場合には硝子面に線條を引いたものを持合はさなかつたから、一時につき約 15000 本の $1 \times 1 \frac{3}{8}$ 吋及び同じく一時につき約 15000 本、 $1 \frac{3}{8} \times 2$ 吋の Wallace 復寫格子を用ひた。前と同様に復寫して是に銀鏡を施して立派な反射格子を得た、只この場合には格子距離に比して焼付のときの密着の度が充分でない爲に、回折格子の面上にスペクトルを現はさない一本乃至數本の不規則な暗線の縞が出来る、而もこの縞はスペクトルの次によつて異なるのである。然し光學的に磨いた硝子板を用ひ、乳劑の塗布を良く行つて、かゝる縞のない、即格子の面全體が一樣なスペクトルの強さを現はすものを作ることが出来た。焼付のときの密着の度は極めて重要なことで密着が充分であればあるほど成績がよいのである。

著者は平面反射格子の作製に成功した當初、この方法が凹面回折格子の作製に應用出来ないものかと種々試みた。多くの失敗の後、最後に原板として一時につき 15000 本、 $1 \times 1 \frac{3}{8}$ 吋の Wallace 復寫格子を用ひ、焼付に太陽鏡を使用して成功した。

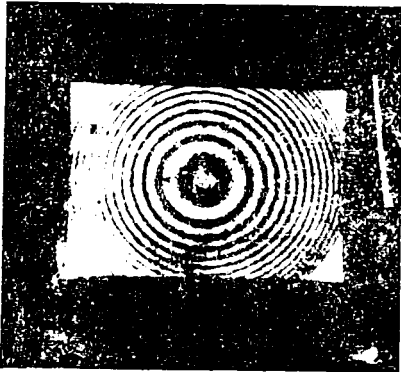
感光板として形の大きな近眼鏡を選び、是に前に述べたと同様に感光膜を布いて用ひた。最初凹面の曲率半徑約 180 厘の凹レンズ(近眼 80 度と稱するもの)の凹面に重クロム酸チエラケンの薄膜を布いて感光膜を作り、この感光膜の側に硝子に作つた平面回折格子の面が来る様に合はす、勿論この場合には格子の面と感光膜との間に空氣層が存在する。自働的に太陽の光を一定の方面に送る太陽鏡で光を面に垂直に送つて焼付けた處、そのスペクトルの強さは弱いけれども、只空氣層の薄い四隅にのみでなく中央部でも一樣にスペクトルを現はすも

(30)

(今堂健雄) 焼付及び鍍銀により反射回折格子を作る方法

のを得た。然しこの凹面回折格子は今日使用されてゐる金屬凹面格子と多少趣を異にする。この凹面格子ではその奇數次のスペクトルが現はれる際その凹レンズの中心を中心として多數の同心圓狀の暗

第一圖



線の環が出来、この暗線の環の部分ではスペクトルを呈しない。曲率半径約 180 種のもので約二十數本の環が出来た(第一圖)。この暗線の環が出来ると爲奇數次のスペクトルはその光度甚だしく弱められる、偶數次のスペクトルでは、この暗線の環全くなく、格子の面は一樣な光度を持つスペクトルを現はす。

この方法により更に曲率の度の大きなものに試みた。曲率半径約 120, 80, 60 種のものに試みて良好な結果を得た。是等の場合にも奇數次のスペクトルに於ては多數の同心圓狀の暗線の環が出来、環の数は曲率半径が小さくなるに従ひその數を増し、曲率半径 80 種のものではその環の數非常に澤山で到底その數を數へ得られない程度で従てその奇數次のスペクトルは極めて弱く、宛も單位長さ内の格子の線條の數が元のものに倍し、分散の度が元のものゝ二倍となつた如く考へられる、従てこの種の凹面格子はその偶數次のスペクトルのみ實際に役立つのである、換言すれば分散能元のものに倍したスペクトルを現はすのである。この場合に復寫された線條は凹レンズの上に出来てゐるのであるから、その線條の構造を知る爲に是を顯微鏡の下にしらべるのは不都合である。著書はかゝる場合の線條の構造を知る爲に、別に平面感光板を原板に密着せしめず、或傾を與へ、即感光板と原板との

間に楔形の空氣層を置いて復寫した處、奇數次のスペクトルに於て等距離の間隔を置いて數多の平行直線の暗線の縞が出来、偶數次のスペクトルではこの暗線のないもの、即ち格子の面全體が一樣な光の強さのスペクトルを現はすのを見た。是は全く凹面格子の場合に出来た暗線の環と同性質のものである。是を顯微鏡の下にしらべると奇數次のスペクトルで暗線を生ずる部分と生じない部分とにより、その線狀の趣を異にするのを見る。暗線を生じない部分ではその線條原板のものと同様であるも、暗線を生ずる部分では線條と線條との間に更に今一本の線條が出来てゐるのを見た、即ちその部分の線條は單位長さの間の數が元のものに倍し、従てこの部分では奇數次のスペクトルを現はさないのである。

太陽鏡を用ふる代りに分光器用のコリメーターを用ひて又上の如く凹面回折格子を作製し得た、然しこの場合にはコリメーターの筒の直徑小にして格子の面全體に光を及ぼし得なかつた。次に寫眞器のレンズで直徑2吋のもの及び4吋のものを使用して平行光線を作り、是を投射することによつて好成績を得た。投射光線を平行光線から少しはづし幾分收斂するもの又は發散するものを用ひて多少趣を異にするものを得た。偶數次のみならず奇數次でも可なりの光度のスペクトルを現はす凹面回折格子を作製し得た。

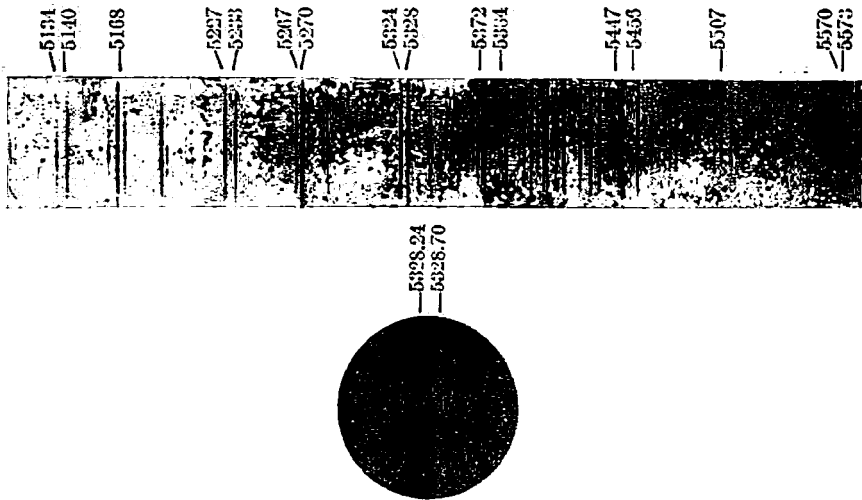
この復寫回折格子は鍍銀されたものであるから生ずるスペクトルは銀面に於ける反射光から成る。山來銀面は可視光線及び赤外光線については一樣に強い反射を與へるも、紫外光線の一部でその反射率極めて弱く、紫外光線のこの部分の研究には不便を伴ふ故かゝる用途のものにはこの不便をのぞく爲更にこの銀面に電解方法によるニッケル鍍金を施す。著者はニッケルとアモニアとの硫酸複鹽の溶液

(32)

(今堂健雄) 焼付及び鍍銀により反射回折格子を作る方法

を使用し、陽極には鍍金すべき凹面格子とほぼ同形の銅板を用ひ、是に凹面格子の銀面を約四種離して相對せしめ約四ボルトの蓄電池を接続して電流を送つた、十數分で一様にかなりの厚さにまでニッケルを置くことが出来た。但し此場合にニッケル鍍金さるべき凹面格子は相當の厚さにまで銀鏡を施されてあるべきで、是を強い光に透して強

第 二 圖

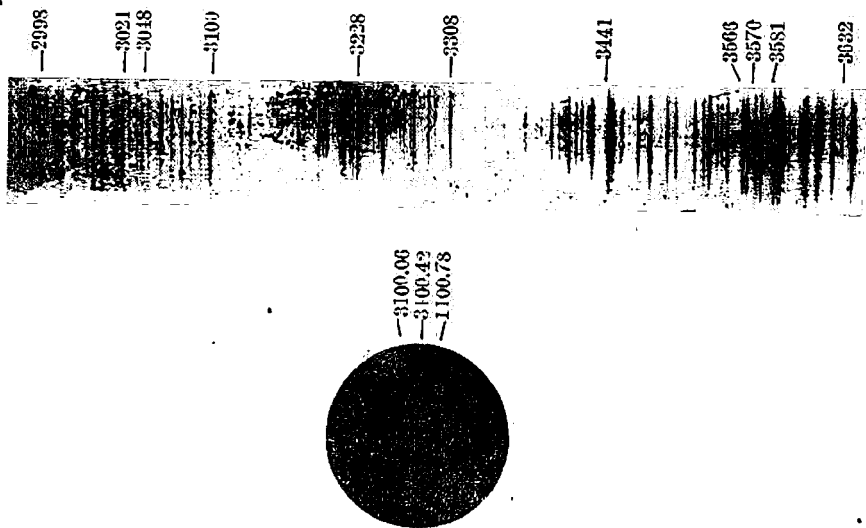


い青色に見えるものを適當とする。若し銀鏡の厚さが可なり薄いものであるときにはニッケルはその上に一様に附着せず斑紋が出来てよくない。

最後に著書が製作した凹面回折格子の分解能について一言したいと思ふ。一時につき 15000 本、 $1 \times 1 \frac{3}{8}$ 吋を複製した曲率半径約 180 極の凹面回折格子をローランド式装置にして鐵の孤燈のスペクトルの緑の部分の寫眞を撮つた、波長の差 $0.46 \text{ \AA}$ を明らかに區別し得られる(第二圖)。又曲率半径約 100 極のものでニッケル鍍金を施し、又くレン

ズを用ひずに鐵の孤燈の紫外光線のスペクトルを寫した、波長 $3100 \text{ \AA}$ 邊は銀の反射殆んど皆無な範圍である。波長 $3100 \text{ \AA}$ は三本の線から成り、各波長の差は何れも $0.36 \text{ \AA}$ である、この回折格子ではこの波長 $3600 \text{ \AA}$ を明らかに三本に區別し得られる(第三圖)。復寫凹面格子が上の様な分解能を有することから、この方法で作つた平面反射格子の分解能については推して知られるから、こゝにはこれを省略する。

第 三 圖



凹面回折格子は分光上、並に波長測定上に、又紫外光線、赤外光線の研究に極めて重要なものである、然し從來この凹面格子は只磨いた金屬凹面上に金剛石の尖端で線を引いて製作する以外に是を得られなかつた、即平面回折格子に於ける復寫格子なるものを見ない。又この製作は平面格子を金剛石の尖端で刻むより更に一層困難を伴ひ従て凹面回折格子は更に高價であることを免れない。著者が作り出した凹

(34) (今堂健雄) 焼付及び鍍銀により反射回折格子を作る方法

面格子は實に最初の復寫凹面格子であることを信ずる。

本研究は恩師木村教授の教示により手を染め、同教授の指導を受けて成し得たのである、記して厚く感謝す。