

# 理化学研究所

## ニュース

June.—1971

No. 33

### イオンビームポリシ加工と非球面レンズ加工

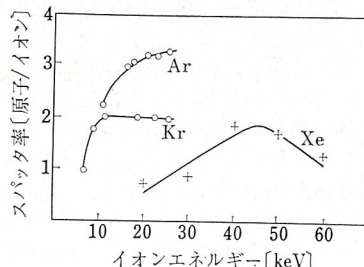
本加工法はアルゴン (Ar), クリプトン (Kr), キセノン (Xe) 等の不活性ガス原子を真空中 ( $10^{-2}$  Torr 程度) で高周波もしくは放電等によってイオン化し, それを電氣的に加速し (加速電圧 20~50 kV), 高真空中 ( $10^{-5}$  Torr 程度) に置かれた加工物 (ガラス, ルビー, ダイヤモンド等のなるべく均相, 単結晶のものが好ましい) の表面に衝突させ非熱的に加工物の表面からその実質部を, 原子の大ききさで一つづつ取りさる (これをスパッタ, sputter という) 方式である。これによって 10~20  $\mu\text{m}$  程度の表面の超精密成形加工が行われるのである。この場合得られる加工表面はこの加工原理から直ちに推測される如く光学的の意味でも極めて滑かなもので, このためこれをポリシ加工といっているのである。

具体的な応用面としては, カメラ用の球面レンズをこの方式によってわずか修正し, 非球面化し, 大口径レンズの性能向上, 枚数削減をはかることがまず第 1 にとりあげられる。その他固体レーザー端面の修正加工 (温度膨張の補正), 溶融石英ブロックゲージ仕上, ダイヤモンド工具表面仕上, 水晶振動子加工, オプティカルファイバ処理 (光通信用) 等も考えられている。

このイオンビームによる加工がこれら無機硬脆材料の超精密加工として用いられるもっとも大きい理由の 1 つは, 前述の如く非熱的な原子的加工ということである。よく言われることであるが, この様な超精密加工にはレーザービームや電子ビームによる加工が適しているのではないかということであるが, 実は不適当なのである。すなわち電子ビームは電子そのものの大ききさが小さいため, 加速電子は加工物物質 (この場合ガラスを中心に考えてみる) の表層下に入りこみ (50 keV の場合は数  $\mu\text{m}$ ), そこでそのエネルギーをその物質の電子殻に与え, 最終的には熱の形となり, その物質を, 熱的に溶融, 蒸発し, いわゆる除去成形加工を行うのである。したがって電子ビームによる

加工ではどうしても, そのための熱影響が大きくてしまい, 物質内部に熱歪や熱割れ等の欠陥を大きくのこしてしまうのである。ことにガラス等の脆性材料やルビー等の劈開性のつよいものは熱応力のためのクラック発生等が大きな問題となるのである。この点はレーザービーム加工等も物質内部で熱エネルギーに変換し, それによる熱加工を行うもので同様に大きい問題となる。もちろん両者とも加工物の表面成形加工について不適当といっているのであって, 穿孔加工等には有利なものがあることはいうまでもない。

これにたいしてこのイオンビーム加工が非熱的といわれるのは, 加速されたイオンが加工物の構成原子核と直接弾性衝突し, その原子にエネルギーを与え, 物質外に飛び出させるので, ほとんど熱の形はとらない。もちろん数百 keV 以上の大きなエネルギーをもつイオンを衝突させた時は物質中にそのイオンが深く入りこみ, また物質の原子配列を乱し, そのエネルギー損失のために熱が発生することは当然である。しかしこの加工の如き数十 keV 程度ではイオンはほとんど内部に侵入しないので, 表面の原子との間での運動エネルギーの交換を弾性的に行うと考えてよいので, そのいみで非熱的と言われるのである。最近良く話題になっているイオン打込み (ion implantation) は後者の高エネルギーイオンを用いる物質中へのイオン打



(A.R. Bayley & P.D. Townsend) Ar, Kr, Xe による溶融石英にたいするスパッタ率

込み現象を主体とするものであり、このイオンビームポリシ加工は低エネルギーイオンを用いる物質からのスパッタ現象を主体とするものである。

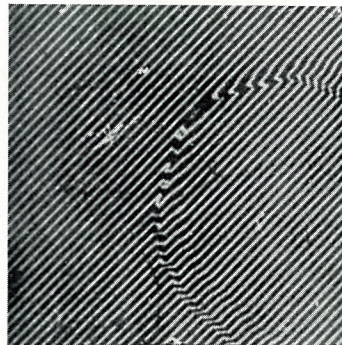
このスパッタの現象は1852年に W.R. Grove<sup>1)</sup>以来多く取扱われたものである。しかし多くは金属材料にたいしてなされており、ガラス等の絶縁物にのスパッタの研究は最近になってからである。また、これによるガラスの加工に関しては、1965年に Meinel, Bashkin, や Loomis<sup>2)</sup>等が加速イオンを用いて光学ガラス鏡面を研磨できることを見出し、それをイオンポリシ(ionic polishing)と名づけたところからはじまったといわれてよいであろう。その後1966年に Bashkin は Schröder 等と共同で具体的な球面鏡のポリシ加工の発表<sup>3)</sup>をしている。

なおスパッタ(sputtering)ということばは erosion あるいは removing という除去という意味と、一方 deposition という付着という意味の両方によく混同されて用いられるが、ここでは前者の除去の意味に用いることとする。

具体的な加工への応用という面からはいわゆるスパッタ率 (sputtering yield, erosion ratio, sputtering ratio)  $R$  がもっとも大きい意味をもつので、それは、 $R = (\text{取り去り原子数}/\text{衝撃イオン数})$  をいみするものである。1例をあげれば 40 keV, Xe イオンで熔融石英のスパッタ率は図1に示す如く  $R = 1.2 \sim 1.8$  で飽和すると報告されており、これより  $2 \times 10^{15}$  ions/(cm<sup>2</sup>·s) の Xe イオンビーム、電流密度でいえば 300  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、での加工を考えれば、その除去加工速度は  $R = 1.5$  として  $3 \times 10^{15}$  atoms/(cm<sup>2</sup>·s) となる。熔融石英 (SiO<sub>2</sub>) の場合 Si, O のそれぞれのイオン半径を 2.5 Å とすれば、この場合加工深さ速度は  $V = 10^{-3}$   $\mu\text{m}/\text{s} = 6 \times 10^{-2}$   $\mu\text{m}/\text{min}$  程度となる。実用的には 20cm<sup>2</sup> 等の面をせめて 30 min 位で 10~20  $\mu\text{m}$  加工せねばならないから、もう少しイオン電流数も増し、かつビーム径は大となってもよいから大きい電流のとれる様なイオン源を製作する必要がある。この場合はイオン電力密度自体は熱的加工でないので\* それほど高くする必要はないので、技術的には、加速電圧が数十 keV で十分ということからも、困難なく実用的なイオンビームポリシ加工機を開発出来る。( \* 電子ビーム等には高電力密度  $10^5 \sim 10^6$  W/cm<sup>2</sup> 等が要求される。上の例のイオンビームは  $1.5 \times 10$  W/cm<sup>2</sup> で極めて低い。)

以上のことから現在当研究所で開発中のイオン源は、3~5 mA/cm<sup>2</sup> のもので、日立製作所の協力を得て製作中であり、これが完成すれば 1~2  $\mu\text{m}/\text{min}$  の加工深さ速度がえられる予定である。

なお非球面レンズ加工の場合はその幾何学的形状や表面粗さが問題となる。表面粗さは下地の球



干渉縞写真

(ピット部 15 KeV Ar による加工：ガラス)

面が十分な滑かな面であれば、加工原理からみてそれ以上わるくなることは考えられないし、既にそれについては 2~3 の報告<sup>4)</sup> が図 2 の如く見られ、0.01  $\mu\text{m}$  程度の粗さは十分えられる。また幾何学的形状については、イオンビーム電流の安定性(全体としてのドリフトだけについて)、制御性、機械装置の位置精度、回転精度、振動防止等が十分に考えられねばならないが、それが出来れば 0.1  $\mu\text{m}$  程度はえられるものと考えられる。

具体的な加工装置は現在設計中であるが、イオンビームの加工物の 1 点にあたるイオンビームの電流密度を、非球面レンズ形状をもととする三次函数のアナログ計算機を用い、グリッド制御で行う予定であり、加工時間の制御は機械的な回転速度および揺動速度制御による方式をとるものである。なお将来の加工方式としてはレーザ・ホログラフイを利用するイン・プロセス制御方式をとることを計画している。

また使用する不活性ガスとしては弾性衝突の原理から当然考えられる如く加工物の原子量と近いものがよいので、その意味から今回はアルゴンを用いることにしている。熔融石英にたいする加速イオンの種類によるスパッタ率の差は先に示した図 1 の如く報告<sup>3)</sup> されており Ar が最適のことが示されている。

以上この加工法の応用を非球面レンズ加工に中心をおいて説明したが、前述の如き多くの応用面も考えられ将来面白い展開をみる事が期待される。

- 1) Grove, W.R.: Phil. Trans. Roy. Soc. London, **42**, 1852 p. 87
- 2) Meinel, A.B., Bashkin, S., & Loomis, D.A.: Appl. Opt. **4**, 12 1965 p. 1974
- 3) Schröder, J.B., Bashkin, S. & Nester, J.F.: Appl. Opt. **5**, 6 1967 p. 2010
- 4) Bayley, A.R. & Townsend, P.D.: Optics and Laser Technology, Aug. 1970 p. 117~121

(精密工学研究室 主任研究員 谷口紀男)

## 理 研 式 電 磁 海 流 計

昨年、田子の浦でヘドロ問題が発生し、関係者の中でその外洋投棄が最初に提案されたため県の調査船による駿河湾内外の海流の測定が実施されて、その是非が論議された。このように世間の話題になるような問題で海流の測定がなされる以外にも、通常海洋気象あるいは船の運航のためとか、漁業調査、漁船の操業ではハエナワあるいは定置網の設定をする際、また海難救助等々、大学あるいは官庁の調査船から漁船にいたるまで、その目的に応じて海流の測定が行われている。

この海流の測定に主として用いられているのが表題の理研式電磁海流計である。電磁海流計 (Geomagnetic Electro-Kinetograph 略して GEK) は第2次世界大戦中に主としてアメリカで研究され、戦後実用化されたもので、わが国でも海上保安庁水路部と理化学研究所(当時は株式会社科学研究所)で研究が行われ、実用器は10数年前から工作部において製作されている。そして、最近までに100台程度の普及をみている。

従来海流は漂流物とか、船の偏流を陸地に固定点を求めあるいは陸地が見えない場合は天測によりその位置の時間的変化を測定して求める方法とか停船して、羽根車による流速計を用いるなどの方法で測定されていた。これらの測定方法では固定点を求めたり船を停める等測定に困難さと共に長期間を要する等の欠点があった。ところが GEK は航行中の船から一本のケーブル(2心キャブタイヤコード)を曳航するだけで、船を停める必要もなく短時間にその場所の海流を測定することができる。

導体が磁場の中を動き磁束を切るとその導体に起電力が発生するという事は、1831年にファラデーにより発見された電磁誘導の法則として知られている。水力、火力あるいは原子力であろうと現在実用に供されている回転式発電機はすべてこの法則によることも周知の通りである。

地球には磁場があるから、海面に水平に置かれたケーブルが海流に流されれば、地球磁場の垂直成分を切り、そのケーブル中には流速に比例した起電力を誘起する。この起電力を測定すれば海流の流速を測定することができるわけで、これが GEK の基本原理である。

実際の GEK は図1のように船尾から2心のキャブタイヤケーブルを曳航する。導体はそれぞれ  $l_1$  と  $l_2$  の長さを有し、その端に電極を取付けてある。今船が図1のように  $v$  なる速度をもった海流中を  $v_s$  の速度で進むと、そのベクトル合成の方向  $A$  に向かって動いたことになる。これは結局ケーブルが海流流速  $v$  の垂直成分  $v_R$  の速度で磁場を切ったことになり、2本の導体にはそれぞれ  $l_1, l_2$  の長さに相当する起電力を誘起する。ケーブルの先端にはそれぞれ電極が取付けられ海水中に露出しているの、電気的には短絡され船上の測定器には  $l_1$  と  $l_2$  にそれぞれ誘起した起電力の差の起電力、すなわち、丁度長さ  $l$  の導体に誘起する起電力が観測される。この場合図1でもわかるように、船速は測定値に関係しないのがこの装置の特長でもある。

しかし、これだけでは海流流速の分速を測定したにすぎない。そこで、図2のよりに転進してその前後の分速をそれぞれ測定し、計算図表の上でベクトル合成することにより流向および流速を知ることができる。理研式 GEK では、船体より発生する迷走電流とか、航跡中に含まれる溶解ガスの影響をさけるため、標準ケーブルの全長は310m電極間距離  $l$  は60mにとっている。この60mというのは日本近海の緯度(地磁気の垂直成分が0.3 Gauss前後)における誘起起電力が海流流速1ノット/時のとき1mVになるような長さである。

さきに、2本のケーブルの先端は電極を通して海水で短絡されると書いたが、ここに問題が2つある。その1つは導体が磁場を切ることにより起電力が生ずるのであるから、海水が流れていれば海水は導体と考えられ、同様な起電力が海水中にも存在することになる。ところが幸なことに海底の流速はほとんど0と考えることができるため表層で発生した海流中の起電力は海水中で短絡され60mの電極間には海水中の起電力は存在しないと考えてよい。したがって浅海の場合にはこの仮定が成立たず測定誤差を生ずる。

次に電極は海水中で接触電位差の小さいものでなければならず、PHメータ等に使われているガラス電極あるいは甘コウ電極等は強度および取扱

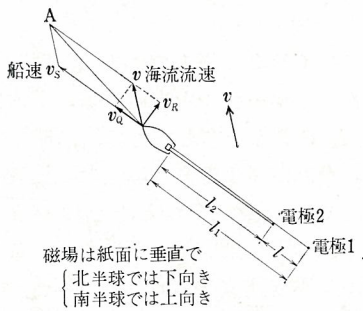


図1 曳航中のケーブルと海流の関係

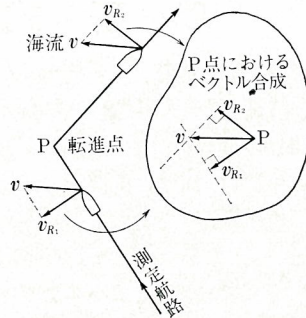


図2 転進前後の測定分速ベクトルとその合成

いこの点で不適當である。そこで理研式 GEK では銀の網の上に塩化銀を焼結した銀一塩化銀電極を用いている。この電極は固体であり非常に安定で取扱も容易であるが、塩分濃度が1%変化すると5mVの電極電位の変動をきたし、温度係数も $-0.3\text{mV}/^\circ\text{C}$ 程度の値をもっている。しかし測定中電極が潮目を寄切ったときなどのほか、一般には両電極間にそんなに大きな濃度あるいは温度変化は生じないので問題にはならない。

船上における起電力の測定は入力インピーダンスの大きな電子式平衡型自動記録計を用い、装置としてはその他、波浪により記録が変動する場合それを平滑化するためのCRフィルターを有している。

GEKの生命はケーブルの先端につけられた電

極の特性にあるといっても過言ではないが、その他にも測定誤差を生ずる要素がある。船がケーブルを曳航する際、ケーブルの先端はある角度をもって海水中に沈んでいるから、電極1と電極2の間には深さ方向の差を生じ、地磁気の水平分力を切るため起電力が発生する。これは補正する必要があり、将来はこの沈みをなくするような構造のケーブルを考える必要がある。その他地磁気の垂直成分を利用しているから赤道では理論的にも測定が不可能であると同時に、低緯度での測定は誤差が大きくなる。

以上述べたように理研式 GEK は一応完成されたものであるが、今後測定の自動化等開発すべき点も残されている。

(工作部電子測器課 課長 後藤栄一郎)



原酒

私が青島(チンタオ)航空隊に居たこのことである。戦争末期で、我隊も敵の上陸に備えて戦車壕掘りを日課としていた。

丁度うまいことに航空隊の正門前を幅200米位のゆるやかな窪地が走り、隊をとり囲むような形をして遙かに延びていた。われわれは、この窪地の中程に戦車壕を掘ろうというわけだ。作業もしやすく、地形的にも好適だった。

古い河床らしく思われたが、その窪地には、まばらながら小集落があり、車馬の通り整備された道路もあって、平地と異るところはなかった。

戦争が終わって間もない頃、突如天を傾けるような大雨が降った。一体に雨の少ないところで、黄塵の舞上る毎日になれていたから、その降りようには度胆を抜かれる思いだった。

それが幾日も休みなく続いたある朝のことだ。全く不意だ。皆が眼をうたがった。どうであろう、何という

ことだ。かの窪地が濁流渦巻く大河に化しているではないか。豚が流れる。家が流れる。木も根もとから引き抜かれて波間を走っているではないか。

ところが、雨が降り止むと、どどん河はやせ細り、やがて水たまりさえ殆んど残さず裸の河床をあらわにした。戦車壕など勿論跡かたもない。休火山が突然爆発したようなものと思った。

この出水さわきが人々の記憶から完全に消え去るまで、こいつはまた休火山の如く枯れたままの河であり続けるかも知れない。

人間の日常的な努力や慮りを無意味にする程の自然がそこにあった。

こういう風土は、思想としての合理主義を育てるには向かないとされている。合理主義は元来小ぢんまりしたおとなしい世界の思考パターンであるからだ。

たしかに、異質なものが生まれる土壌に違いない。或はそこには西欧的の体質を濃厚に持つ現代科学に対する革新原理が息づいているかも知れないと思った。

(経理部長 西本 靖)