スパイラル型ホーカス電極を有するイメージ管

日立製作所中央研究所 山 本 菊 男

静電集束型イメージ管の電子レンズとして同心球状の電位分布を利用する方式がある。しかし普通、集束電極として金属円筒を使用することが多く、このため管内部の電位分布は理想の場合とは異なってきた、これが解像度、ひずみなどの諸特性に影響しているものと思われる。このためよりいっそう精密な同心球状電位分布を得るため、スパイラル型集束電極を考え、これをイメージインテンシファイヤに応用したことの報告である。

X線けい光増倍管 (X-ray image intensifier tube) はけい光光電陰極面をそなえてX線に感度を持たせた像変換管 (Image converter tube) の一種であり、1952年に Philips で¹⁾、1953年に Westinghouse で²⁾、それぞれ製品化に成功したものである。最初のこの管の目的はもっぱらX線透視診断用であった。すなわち従来もちいられていたけい光板のかわりに使用して高輝度の像を出し、明室透視を可能にして、医師が目の暗順応に要する時間を短縮するとともに、高輝度による解像力の向上、また医師ならびに患者の被曝線量を減少することにあった。しかしその後、癌の集団検診に対する必要性がたかり、遠隔診断やX線診断の記録をとることが要望され

るなど、医学における需要が増大している。また溶接作業の検査や鋳造工程の監視など、工業用非破壊検査への応用の将来性も考えられるに至っている。このためX線テレビ装置やX線映画撮影装置が現在各方面で開発されているが、このような応用面の拡大化は、また逆にX線けい光増倍管(以下I.I.と略す)の性能の向上をうながし、初期のI.I.にくらべると輝度増倍率、画質、精度は年年進歩しているし、製造するメーカーや、製品の種類もかなりふえてきている状態にある³⁾⁴⁾⁵⁾。われわれは数年前にI.I.の開発に着手したが、これは同心球状の電位分布を利用した電子レンズを持つイメージ管で、静電集束型I.I.のうちでは構造も簡単で解析もらくなもの一つである。今回I.I.の解像度、特に周辺部の解像度の向上を目指して、スパイラル型集束電極を持つI.I.を試作し、いくつかの実験をおこなったので、その動作原理と実験の結果得られた特性について述べる。

第1図 スパイラル型集束電極を有する
X線けい光増倍管

第2図
陽極に穴を有する
同心球状電極構造を
持つ電子レンズ系

I.I. の 構 造

I.I.は第1図に示すように、けい光々電陰極、集束電極および陽極よりなりたっている。けい光々電陰極は厚さ0.15mmの球面状の薄ガラス皿の凹面にSb-Cs₃光電面、凸面にZnS:Ag けい光面をつけたサンドイッチ構造を持っていて、X線入射窓より入るX線透視像をけい光面で光に変換し、薄ガラスを通過したこの光像を光

筆 者 紹 介

山 本 菊 男 (正会員)

昭和32年早稲田大学電気通信学科卒業、た
だちに日立製作所に入所し、中央研究所に勤
務現在に至る。現在イメージインテンシフ
ィヤの研究に従事している。

"Image Intensifier with Spiral Focussing Electrode" by
Kikuo Yamamoto.

第3図 同心球状電極構造を持つイメージ管

第4図 集束電極を有するX線けい光増倍管

第5図 同心球状2電極間の電位

電面で光電子に変換する一種のX線-電子線変換器である。

陽極は先端が球面の中空金属円筒で、集束された電子線は陽極先端の穴より内部に入り、そこにもうけられている観察用けい光面に縮小された陰極の像を結ぶ。このとき電子線は陽極電圧によって加速され、かつ像の縮小による電子流密度の増加のため、陰極けい光面よりも大きな輝度を持つ出力画像が得られる。

I. I. の電子レンズ

このようなイメージ管の電子レンズ系は原理的には第2図に示すような、同心球状に配置された二つの電極の間に生じる電場を利用したもので、このような電子レンズ系の解析は Philips の Schagen らによってすでになされている⁶⁾。すなわち2コの同心球状電極の半径をそれぞれ R_a, R_c とし

$$R_c = nR_a, \quad n > 1 \quad (1)$$

とする。このとき R_c を陰極、 R_a を陽極とし、陽極は電子を通過させない金属球の場合を考えると、陰極の一点から放射された電子線が結像する面は同じく同心球状となり、その半径を R_i とすると

$$R_i = \frac{n}{n-2} R_a \quad (2)$$

となる。しかしこの場合陽極は電子線を透過しないので、この方式を実用することは不可能である。そこで陽極球面上に電子線が通過できるように小さな穴をあけることが必要となってくるが、このような穴が陽極球面上にあると、等電位面が穴の内部にむかって彎曲し、弱い負のレンズ作用が加わる。この効果を考慮して第2図の場合の結像面の半径 R_i を求めると、

$$R_i \approx \frac{6(n-1)}{n-4} R_a \quad (3)$$

となる。

以上の解析を利用して実際にイメージ管を製作するときには、できあがった管球はかなり大きなものになるし、製造技術上の困難も予想されるので、一般には第3図に示すように陰極は円筒形の一端が球面の一部をなしているようなものとし、陽極は球面に穴を有する中空のコー

ン状のものとする。このとき像はかなりの焦点深度を有しているので観察用けい光面は平板状のものを使用する。しかしこのような変形を加えると電極間の電位分布は理想的な値よりかなりずれるために最大の陰極領域の像を得るには陰極、陽極間の距離は実験的に定めねばならない。現在市販されている I. I. の内でこのような同心球状2電極系の理論に立脚したものは、原則として第3図の構造を有しているが、上記のように製作時の工作精度が、出力像の集束状況に大きく影響するため、一般に第4図に示すように円筒形集束電極をもうけ、この電位を調節して結像させている。

スパイラル型集束電極

第4図の構造を持つイメージ管では周辺部で解像度が低下し、またひずみ、とくに糸巻ひずみのいちじるしいことがある。これは前に述べたように電子レンズの周辺での電位分布が同心球状になっていないこと、および陽極内の観察用けい光板が平板状になっていることに起因している。

観察用けい光面を球面にすることは技術的に必ずしも不可能ではないが、このような面板にすると、光学系との結合が困難になるので、今回は電子レンズを構成する電位分布をできるだけ理論どおりのものにして、その影響を見ることにした。

われわれが今回試作した I. I. の電極寸法の関係は第6図に示すように、陽極および陰極の曲率半径をそれぞれ r_a, r_c とし円筒状集束電極の半径を r_g とすれば、これ

第6図 同心球状電極間の電位分極

第7図
集束電極に沿
った電位分布

らの大きさはつぎのような関係にある。

$$r_c = 30 r_a$$

$$r_g = 14.6 r_a$$

いま、陰極に 0 V、陽極に 22 kV を印加して理想的な電位分布を計算する。第5図のような同心球状の電極を考え内側の球電極の半径を r_a 、電位を ϕ_a 、外側の球電極の半径を r_c 、電位を ϕ_c とすると、この電極間の任意の半径 r の点の電位 ϕ_r は

$$\phi_r = \frac{\phi_a - \phi_c}{r(1/r_a - 1/r_c)} + \phi_c - \frac{\phi_a - \phi_c}{r_c(1/r_a - 1/r_c)} \quad (4)$$

$\phi_c = 0$ であるから

$$\phi_r = \phi_a \frac{r_a}{r} - \frac{r_c - r}{r_c - r_a} \quad (5)$$

$r_c/r_a = n$ とすれば

$$\phi_r = \frac{\phi_a}{n-1} \left(\frac{r_c}{r} - 1 \right) \quad (6)$$

$$\frac{\phi_a}{n-1} = \phi_0 \quad \text{とおけば}$$

$$\phi_r = \phi_0 \left(\frac{r_c}{r} - 1 \right) \quad (7)$$

したがって

$$r = \frac{n r_a}{1 + \phi_r / \phi_0} \quad (8)$$

$\phi_a = 22 \text{ kV}$, $n = 30$ を (8) 式に代入して計算すると第6図のような結果がでる。この図より集束電極に沿っての電位分布をとると第7図のようにほとんど直線で近似することができる。このためガラス製の管球の内面に高抵抗のカーボンスパイラル状に塗布し、第6図の G_+ の端子に 800 V、 G_- 端子に 0 V の電圧を与えれば、スパイラルが一定のピッチを持っていれば集束電極の内面に沿って、ほぼ第7図に等しい電位分布を得ることができる。第4図にあるような円筒状集束電極を有するイメージ管においては、管の動作時に数 μA 程度の集束電極電流が流れている。集束電極をカーボンスパイラルとし、これに電位分布を発生させるために電流を流すときは当然、前者の影響をさけるため数十 μA 以上の電流を流すことが必要となってくる。またあまり大電流を流すとカーボンが発熱し、光電面の製作時に吸収されていた Cs が遊離して光電面の特性に影響することが考えられ、また管内に発生する磁場の影響も無視できなくなる可能性もあるので、カーボンスパイラルに流す電流値は 10~100 μA が適当である。カーボン膜はまた光電面製作時に Cs を吸収してその抵抗値を変化させるので、このことも考慮しておく必要がある。カーボンスパイラルのピッチはできるだけ小さいものが望ましいが、抵抗値で制限をうけるので塗布幅は 1mm、ピッチは 2mm とした。

実験結果

1. 集束特性

以上のべた方法で製作した I.I. を写真1に示す。

写真1 スパイラル型集束電極を持つX線けい光増倍管

第8図 試作管の集束特性

第9図 集束条件による視野、倍率の変化

(a)

(b)

(c)

写真 2 出力 像

このスパイラル集束電極の陽極側の端子 G_+ に印加する電圧を V_{g+} 、陰極側の端子 G_- に印加する電圧を V_{g-} とし陰極の電圧 V_c をパラメータとして結像する点をプロットすると集束特性が得られる。一例を第 8 図に示すが、図より明かなように、集束特性はほとんど直線で V_c の変化によって平行に移動する。

2. 倍率および視野

V_c を一定値、たとえば 0 V に保ち第 8 図の集束曲線を右下より左上にむかってたどると出力像は写真 2 (a) (b), (c) の順で変化する。写真にある格子状のものは、金属製で像のひずみを見るためのものであり、中央部に並んでいるのは解像度測定用パターンで銅線をその直径と等間隔に配列したもので、銅線の直径は太い方から順に 0.5, 0.4, 0.3, 0.2 mm である。

像の視野はこのように $V_{g-} > 90$ V では陰極の全面をカバーしているが、 V_{g-} を低下させると陽極にうつる陰極の範囲はだんだん小さくなり、第 9 図のグラフのように $V_{g-} = -190$ V では陰極直径の 0.57 の範囲が見えるにすぎなくなる。このとき陽極における出力像の直径は、視野が小さくなるに従って縮小するが、像の倍率すなわち陰極有効径と陽極出力像の直径の比率は第 9 図に示したように、むしろやや増大する傾向がある。

3. ひずみ

ひずみは静電集束型イメージ管に固有の糸巻型ひずみが見られるが、特に V_{g+} が低く V_{g-} が大きいときにいちじるしくなる。第 8 図の斜線の部分はひずみがひどくて実用に適さない範囲である。

む す び

I.I. の性能を向上させる一方法として電子レンズを構成する管内電位分布をより一層同心球状に近づけるためにスパイラル型集束電極を持つ管を試作した。

設計上では $V_{g+} = 800$ V, $V_{g-} = 0$ V 付近で電位分布は

理想的な状態にもっとも近づくはずであったが、第 8 図より明かなように集束点はこの点よりはずれている。この原因としては陰極の曲率半径、カーボンスパイラルの抵抗値の分布状態、陰極・陽極間の距離などの精度が影響して設計どおりの電位分布が実際には得られていないためと思われるが、この点についての解明はなお実験をすすめてみる必要がある。

しかし本実験の結果、スパイラル集束電極に印加する電圧および陰極の電圧を変化することによって、視野、倍率、明るさ、解像度、ひずみなどの性質がある程度変化することがわかった。したがってこれらの諸特性を総合して、この I.I. の性能を最大限に発揮している点を第 8 図上に求めることができる。しかもこの最適動作点は本 I.I. を第 4 図の方式で動作させたときの特性、すなわち第 8 図での $V_{g+} = V_{g-}$ の鎖線とは必ずしも一致していない。したがって本集束方式による方が円筒型集束電極による方式よりも I.I. の性能を向上させているといえよう。

本論文は昨年 9 月のテレビ用電子管研究委員会での報告に若干資料を追加、更新して取りまとめたものであり、本題目の研究のいわば中間報告的な意味合を持っているため実験結果の解析はまだ十分なものではない。

最後に本研究内容に関し種々援助を受けた社内の各位に謝意を表する。
(昭和 36 年 11 月 23 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) Teves, M., Tol, T.: Electronic Intensification of Fluoroscopic Images, Philips Tech. Rev., 14 (1952), 33—43
- 2) The Electronic Fluoroscope, Westinghouse Engineer, 13, (1953), 70—71
- 3) 田部貞夫 他：島津 X 線けい光増倍装置，島津評論，14, No. 4, (1957), 5—15
- 4) 安藤隆男：ズームイメージ管，テレビ誌，15, No. 5, (1961), 14—18
- 5) 小川 一郎 他：X 線螢光増倍管とその応用，エレクトロニクス，2, No. 11, (1957) 1483—1490
- 6) Schagen, P., Bruining, H., Franken, J.: A Simple Electrostatic Electron-Optical System With Only One Voltage, Philips Res. Rep., 7, (1952), 119—130.