可視光用イメージ管

東芝中央研究所 長谷川 伸
宮代 彰 一

天体観測用、ペータトロン・テレビ用、軟X線のけい光像観測用などの1段形イメージ管を試作し、実用化試験を行なった。光束増倍度は15~30倍程度で、出力像縮小形の場合とくに有効に使用しうることがわかった。そのほか静電ズームレンズの実験、ひずみ、像面彎曲など画質についての試験を行なった。

従来イメージ管は赤外線、紫外線など肉眼で見えない像の可視像への変換¹⁾、X線けい光増倍管として用いられてきた²⁾。最近では天文学、物理学などの観測用、工業方面への応用として可視波長範囲のきわめて暗い像を明るい像に変換することが必要となり、その目的の管球が研究されている。

第1図にイメージ管の基本的構造を示す。光電面の各部分からは入力像の明暗に応じた光電子が放出され、電子レンズで加速集束され、けい光面に電子像を結び、ここで可視像に変換される。光電面および入力窓の材料をえらべば、赤外、紫外などの非可視の入力像を可視光像に変えることができる。

第1図のイメージ管(1段形)を可視光の輝度増倍に用いたときの利得について考えてみる。現在用いられている光電面の量子効率(1個の入射光量子により放出される電子数)は可視光に対し数%~10%程度であり、またけい光体の量子効率(1個の入射電子により放出される光量子数)は材料や使い方によって異なるが20kV加速電子に対して数百程度である。したがってイメージ管全体としては数十倍の量子利得が期待される。なお、さらに高い増倍度が要求されるときには、途中で電子増倍ターゲットを設けるなどの手段が必要となり、それらに対しても研究が進められている^{3~5)}。

第1図 イメージ管の原理

"Image Tube" by Shin Hasegawa, Shoichi Miyashiro

われわれは3種の1段形イメージ管を試作して、輝度増倍度、電子光学系に関する実験、および実用化実験を行なった。

1. 小形イメージ管

望遠鏡、分光器などに組込むような小形管として、外形、電極構造などはすべて小形暗視管6032と全く同じ管球を試作した。光電面は、可視全域に感度をもつAg-Bi-O-Cs(S-10)とし、けい光体はP-20を用いた。構造の概略を第2図に示す。

1.1 特性

静電集束形で、第2図の電圧によって動作する。出力像の大きさは入力像の1/2、解像力はテレビ式で500本である。入力光源に2870°K標準ランプを用いたとき、光束増倍度は15~20倍、輝度増倍度は60~80倍であった。

1.2 写真撮影実験

管球自体の増倍度は数十であっても、出力像を写真にとるときは、出力光の一部しか写真レンズに捕えられぬため、レンズまでふくめた実効的な増倍率は前記の値より小さい。この管球の実用化試験として、東京天文台より

第2図 小形イメージ管
(光電面有効径 28φ, 全長 105mm)

借用した星のシミュレータを用いて入力像を与え、出力像を写真撮影した。シミュレータは 74 インチ天体望遠鏡を通して 9~16 等級の星を見たときと、大きさ、色、明るさの点ではほぼ等価の像が焦点面に得られるようになっている。

出力像を F1.8 のカメラ、SS フィルムを用いて 1 分間露出すると、15 等星以上を撮影しうるが、この値はシミュレータの星像をただちにフィルムに感光させたときと変わらない。F 0.95 のカメラを用いると、露出時間は約 1/3 に短縮しうる。また天体の光の分光スペクトルのシミュレータを用いた実験でも、ほぼ同様の結果を得た。

2. 大視野輝度増倍管

厚い鉄板などの非破壊検査に用いられるペータロン・テレビ用として、大視野の輝度増倍管を開発した。視野 5 インチ径のもので、入力像にくらべて出力像の寸法を縮少することにより、高い輝度増倍度を得られるようにした。

外形、電極構造などは 5 インチ X 線けい光増倍管とはほぼ同様で、第 3 図に示す。光電面は X 線用けい光体の発光スペクトルと合わせるため SbCs_3 、出力けい光面は P-11 を用いた。

2.1 特性

第 3 図に示す直流電圧で動作する。電子レンズの拡大率は約 1/8.5、解像度はテレビ式で約 300 本である。前記の小形イメージ管と同じ条件で測定したときの光束増倍度は 30~40 倍、また輝度増倍度は 2,000~4,000 倍である。

2.2 実用化試験

この管球をペータロン・テレビに用いるときは、第 4 図のように光電面の外側に X 線用けい光体を塗布し、さらにその外側に増感剤として鉛板をおく。この鉛板でペータロンからの高エネルギーの放射線は軟 X 線に変えられ、有効にけい光体に吸収されてけい光を発し、管球フェースプレート内面の光電面を刺激する。

系全体の解像力は、このガラスフェースの厚さで悪く

第 3 図 大視野輝度増倍管
(光電面径 125 ϕ , 全長 300 mm)

写真 1 ペータロン・テレビのモニタ像
(10 cm 厚鉄板と 1 cm 厚歯車の組合わせ)

第 4 図 ペータロン・テレビ

なり、必ずしもよい値をもつとはいえないが、非破壊検査用としては十分役に立つ。出力像はイメージオルソコンカメラで撮影し、放射線区域外に置いたモニタで観測できる。

けい光板をただちにテレビカメラで撮影する場合にくらべると、イメージ管により光束が増倍されること、出力像の寸法が縮少されているためカメラレンズの効率がよくなることにより、所要の放射線量は数十分の一に減る。これにより、厚さ数十 cm の鉄材の内部欠陥の非破壊検査が行なわれ、厚さの 3~5% のものはモニタ上で発見しうる。

写真 1 は 10 cm 厚の鉄板と 1 cm 厚の歯車とを重ね合わせたものを、ペータロン・テレビで撮影したときのモニタ写真である。

3. 軟 X 線けい光像観察用

決長の長い X 線によるラウエ斑点などを観測するための管球である。光電面部分のフェースの外側に X 線用けい光体を塗布して用いるため、上記の大視野輝度増倍管同様、解像力の点からフェースを薄く、管球全体を小形にした。

3.1 構造

第5図 軟X線けい光像観測用イメージ管の電子光学部分構造

光電面はX線用けい光体の発光波長と合わせるため SbCs_3 とした。電極は使いやすさの点から静電4極電子レンズとし、電極電圧をえらぶことにより出力像の大きさを変えうるズームレンズとした。 SbCs_3 は比較的多量のセシウムを要するうえ、小形管球を高電圧で動作させるため、セシウムの管球内壁吸着による耐電圧性低下が問題となる。McGee⁹⁾ は管球内部をガラス板で2室に分け、一方を光電面活性化室としてアンチモン、セシウムの蒸着源を設け、他方を光電子加速室として加速電極、出力けい光膜を設け、ガラス板上に光電面を製作してのち、板を裏返して、光電面を加速室に向ける方法をとった。したがって加速室のセシウム吸着が少なく、耐電圧

第7図 光入射点一ひずみ

性は改善されるが、光電面活性化のさいの温度管理がむずかしい。

われわれは管球を第5図に示す構造とし、クロスオーバの小さいことを利用して、小さな隔板を封入しておき、光電面活性化中はAの位置においてセシウムなどを蒸着し、排気後は隔板を管球内に作った格納器に入れた。これにより、高電圧のかかる陽極と G_2 との間のガラス壁のセシウム吸着を防いだ。この方法で加速電圧は約 25 kV まで上げることができ、光束増倍度約 30 倍を得た。

3.2 電子光学系の特性

第5図の電極電圧を変えると出力像の大きさ、像にもなる糸まきひずみが変化する。これらの測定にはとくに陽極の長さを変えうる管球を使用した。

第5図において $E_A=1$ とし、 E_{G2} を与えると、最良の解像力を得るために E_{G1} を適当に調整しなければならない。この値を実験的に求めて第6図(a)を得た。つぎに電子レンズ系の拡大率を出力画像の中心での値 m_0 、中心から 10 mm の点での値 m_1 としたとき像のひずみ D を $D=m_1/m_0$ で定義する。 $E_A=1$ とし、 E_{G2} を変えたときの m_0 、 D を測定して第6図(b)(c)を得た (E_{G1} は E_{G2} の変化に応じて最良のスポットを結ぶように調整する)。 E_{G2} を下げ、出力画像を小さくするにつれて、ひずみは増加する。

出力側で中心軸から 10 mm 離れた点に結像する電子源 (入力側) の、光電面上における中心軸からの距離を横軸にとり、ひずみを縦軸にとって各測定点をプロットすると、第7図のようにほとんど一線に重なる。すなわち像のひずみは陽極の長さ、 E_{G2} などにはほとんど関係なく、入力像の中心軸からの距離で定まる。

第6図から、 E_{G2} をパラメータとして陽極の長さ (けい光膜の位置) に対して m_0 をプロットすると、直線群が得られる。陽極内で電子が直進するものと仮定すれば、 $E_{G2}/E_A=0.9$ のところでは、クロスオーバは G_2 の前面、 E_{G2} を上げるにつれてクロスオーバは G_2 の中を

第6図 (a) : E_{G2} —最良の集速を得るための E_{G1}
(b) : E_{G2} —電子レンズの拡大倍率
(c) : E_{G2} —像のひずみ

第8図 像面彎曲

移動し、同時に出力像が小さくなり、 $E_{G2}/E_A=0.5$ で陽極の前面にあると考えられる。クロスオーバーが陽極内に入ると($E_{G2}/E_A<0.5$)、ひずみは急に悪くなると推定される。

また第8図は、同じ実験管で管電圧を一定に保ったままけい光面を動かして、解像力の最もよい点を調べながら像面彎曲を測定したものである。彎曲は意外に大きく、このままでは光電面の曲率が小さすぎることを示している。

写真2はポジフィルムを光電面に投射し、イメージ管電圧を変えて像の縮小比を変化させつつ、出力像を同一倍率の写真にとったものである。

4. 輝度増倍度

前記の実験の結果、イメージ管の光束増倍度はいずれも30倍程度であった。イメージ管の出力像をテレビまたは写真に撮像する場合、カメラレンズによる光の損失を考えると、

写真3 各種イメージ管(左から、小形、軟X線用、電子光学実験用、大視野イメージ管)

系全体として3~5倍までの感度向上が期待される。

一般に光学レンズを用いて感光面(乳剤またはテレビ撮像管)に被写体の実像を結ばせる場合、レンズの効率 η はつぎのように表わせる。

$$\eta = \frac{\text{感光面への入射光量}}{\text{被写体からの発光量}} = \frac{m^2 T}{4 f^2 (m+1)^2}$$

ここに m は光学レンズの拡大率、 T はレンズの透過率、 f はレンズの開口径である。

大きな被写体を小さな感光面に結像させる場合には m が小さく、したがって η も小さくなる。しかし、光学レンズへの入力像の大きさをイメージ管を用いて縮小しておけば、光学レンズとしては m を大きくとることができ、レンズ効率 η は大きくなる。たとえば $m=0.1$ の場合と $m=1$ の場合とでは、 η は後者が約30倍大きく、ペータロン・テレビの実験ともほぼ符合する。

また電子レンズ系によって出力像を縮小すれば、かな

表1 各種イメージ管の比較

種別	光電面	光電面有効径	加速電圧	光束増倍度	輝度増倍度	像の拡大率
小形	Ag-Bi-O-Cs	30φ	16 kV	約15倍	約60倍	1/2
大視野	Sb-Cs ₃	125φ	22 kV	約30倍	約3000倍	1/8.5
軟X線用	Sb-Cs ₃	70φ	25 kV	約30倍	20~90倍	0.6~1.3

(a) 電子レンズの拡大率 0.53

(b) 電子レンズの拡大率 0.64

(c) 電子レンズの拡大率 0.87

写真2 軟X線けい光像観測用イメージ管の静電ズーム(写真倍率は同一)

りの輝度増倍度が得られ(拡大率の2乗に逆比例), 出力像を肉眼で直視する場合に有利である。以上の理由から1段形イメージ管は入力像の大きい場合, 有効に使用しうる。

試作した3種のイメージ管の増倍率などをまとめて第1表, 外観を写真3に示す。

5. む す び

1段形イメージ管3種を試作した。これらはベータトロンのテレビ, 天体, 軟X線けい光像観測実験に使用されている。実験の結果, 光束増倍度はいずれも15~30倍で, とくに出力像縮小形の管球は光学レンズの集光率向上と合わせ有効に使用される。さらに大幅な写真感度向上を望むさいは, 多段形などの高増倍度の管球を必要とする。

静電形ズームレンズをもつイメージ管では, ズーム比2程度が得られ, 画像の拡大率とひずみとの関係を測定して, ひずみは電子レンズ系の拡大率にはあまり関係せ

ず, 入射像の位置によってきまることがわかった。像面彎曲についても測定を行ない, 画質改善についての示唆が得られ, また耐電圧性の高いイメージ管についても実用化の見通しが得られた。

この研究については当研究所の岡部部長, 中山部長代理に, つねに御指導, 討論をいただいた。またデータは白水俊次君, 井上正一君, 増田道治君の努力に負う。管球試作にあたられた方々へも感謝の意を表わす。

(昭和38年5月8日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 小川, 長谷川: 暗視管, 東芝レビュー, 12 (1957), 599~
- 2) 小川, 内田, 小野, 前島: X線蛍光増倍管, 東芝レビュー, 12(1957), 1363~
- 3) McGee J.D.: Photoelectronic Image Intensifier, Rep. on Prog. in Phys., 24 (1961), 167~
- 4) Anderson A.E.: The Transmission Secondary Emission Image Intensifier and its Application to Low Light Level Imaging, Tr. IRE., NS-7, 2/3 (1960), 133~
- 5) Inoki, M.: An Image Intensifier Spark Tube, R. S. I., 32 (1961), 994.

テレビジョン学会雑誌寄稿規定

1. 寄稿者は原則として本会々員に限る。
2. 本会所定の原稿用紙に, 別に定める「テレビジョン学会雑誌執筆要領」に従って執筆すること。原稿用紙および執筆要領は申込みにより送付します。
3. 寄稿の種類
(イ) 論文・解説・資料(長さは原則として刷上り6ページ以内, 1ページは250字詰原稿用紙で約8枚)
(ロ) 談話室原稿(刷上り1ページ以内), この欄は会員各員の自由な発言の場として寄稿を期待します。たとえば本会誌に掲載された論文などに関する感想, 討論または本会誌内容, および本会の運営, 事業などに対する批判, 意見, 研究速報, テレビに関する随筆, 書評, 海外だよりなど。
4. 寄稿の内容はなるべく本会員多数のために理解しやすく, かつ未発表のものに限る。他の著作権を侵した場合は寄稿者の責任とする。
5. 寄稿された原稿は本会編集委員会で査読し不相当と認めたものは掲載しない。この場合, 原稿は寄稿者に返送する。
また, 編集委員会が原稿の一部訂正を適当と認めたときは, そのむね寄稿者に通知, 了解を得て訂正のうえ掲載する。
6. 寄稿が掲載された場合は1件につき抜刷り10部を無料で寄稿者に贈呈する。ただし, 原稿料は支払わない。
なお, この他に別刷を希望する場合は, 実費を要す(寄稿のさいに希望部数を明記のこと。最低100部, 例: 4ページ100部で約3400円)。
7. 原稿用紙, 執筆要領の申込み, および原稿の送付先
東京都港区芝公園第20号地 東京タワービル
社団法人 テレビジョン学会
TEL (431) 7441 (内線 227)