撮 像 管 の 最 近 の 動 向

最近における各種撮像管の発展の状況を、特にイメージオルシコンおよびビジコンを中心として全般的に概説する。

ここ 2~3 年における撮像管の発展は誠に目覚ましいものがある。特にイメージオルシコンおよびビジコンにおいていちじるしく、数年前には僅か数種類に過ぎなかったものが、付表にも示すように、数十種類の多さを数えるに至った。この原因とするところは、放送用においては、感度、画質などの向上およびカラーとしての要求が高まったこと、工業、科学、軍事などの閉回路用において、それぞれ使用目的に適した撮像管の需要が急激に多くなったことによるものである。このような傾向は、すべての用途に万能な撮像管の存在しない現状においては、妥当なことと考えられる。

しかし管種としては、放送用にはイメージオルシコン、閉回路用にはビジコンがいぜんとして主流をなしており、特に形式の変った管が実用化される段階には至っていない。したがってイメージオルシコンおよびビジコンの改良を主とした撮像管の発展という情勢は、当分の間続くものと思われる。しかし、これだけでは解決できない、さらに高度の要求に応ずるためには、異なった動作形式の管の開発が必要であり、現にこうしたもの、特に超高度の管種の開発研究が盛んに行なわれている。

わが国においては、NHK 技研、各製作会社の多年の努力が実を結んで、現用管種の国産化が完成し、国内需要を満すのみならず、輸出を行なうまでになっている。また新管種の開発研究も進められ、さらには外国の模倣を脱却して、まったく独自の開発研究も行なわれるようになり、撮像管の研究および製作面において、世界の市場および学界に非常に大きな比重を占めるようになった。特に撮像管の理論、解析などの分野における研究成果は、誠にいちじるしいものがあり、未解明の点が多い撮像管の動作機構の究明に、多大の貢献をなしている。

イメージオルシコン

1949 年に 5820 が製品化されてから十余年、スタジオに、中継に、ほとんどこの管が使用され、現在において

NHK 技術研究所 吉 永 義 輝

もなお最も多く使用されている。しかし感度、画質などの点で十分でなく、この向上がのぞまれ、またカラー用としては特に色合わせの点で、画像の精確性、感度の向上が要求され、つぎつぎと新しい管種が製品化された。以下主な改良点について、簡単にその経緯を述べるが、その前に特に感度と最大 SN 比の関係について、きわめて概括的に触れておく。

イメージオルシコンの最大 SN 比は、走査ビームの戻りの最大信号電流の平方根に比例し、これにビーム変調度その他によって決定される係数、二次電子増倍部における二次電子放出比によって決定される係数などが加わるのであるが、これらの係数は製作上からあまり大きく変化するものでなく、したがって最大 SN 比はほとんど戻りビームの最大信号電流によって決定される。この最大信号電流は、ターゲットの蓄積容量と set-up 電圧の積によって決定される。したがって最大 SN 比を改善するためには、ターゲット面積を大きくするか、ターゲット・メッシュ間隔を狭くすることによって蓄積容量を増加することと、ターゲット set-up 電圧を上昇することとが必要である。後者はエッジ効果などのため制約を受け通常の管では 2 V となっているが、これはフィールド・メッシュの使用、ターゲットの大型化などによって 3~4 V に増すことも可能となっている。

イメージオルシコンの感度は、同じ最大 SN 比の場合には、主として光電面の光電感度とターゲット利得によって決定される。ゆえに光電感度とターゲット利得の積が一定であれば、イメージオルシコンとしての総合感度は一定であるが、一般には蓄積容量が大きい場合には、最大 SN 比は大きくなるが、knee point における入射光量が大きくなるため、実質的に感度が低いと称されている。この実質的な感度の定義からすれば、光電感度とターゲット利得の積が一定であるかぎり、最大 SN 比を高くするためには感度を犠牲にしなければならず、またその逆の場合もあって、両者の改善を計るためには、光電感度またはターゲット利得の向上が必要である。ただしターゲット set-up 電圧の上昇は、ターゲット利得の改

"Recent Development of the Camera Tubes" by
Yoshiteru Yoshinaga.

善も伴うから、最大 SN 比と感度を同時に改善することとなる。

1. ターゲット・メッシュ間隔 蓄積容量は管形が同じであれば、ターゲットとメッシュの間隔によって決定される。5820 ではこの間隔が 50μ 程度で、最大 SN 比も 35~40 であるため、カラー用としてはさらに最大 SN 比が高く、光電変換特性の直線範囲の広いものが要求され、6474 のような 25μ 程度で最大 SN 比が 55~60 のものが製作された。放送用としては、高感度、低 SN 比用には 50μ 前後のもの (5820, 4401)、低感度高 SN 比用には 25μ 前後のもの (6474, OS 20) に大別される。ただしフィールド・メッシュのある管種では、フィールド・メッシュによる信号電流の損失による最大 SN 比の低下を補うため、さらに 20~30% 狭間隔になっており、 45μ 前後 (7293-A, 55807, 4415, 4416, OS 40 F) 20μ 前後 (7513, 7294, 55809, OS 20F) となっている。

広間隔のものは白黒用、狭間隔のものはカラー用というのが従来の通念となっていたが、最近ではカラー用に関する感度の向上の要求がいちじるしく、このために最大 SN 比を多少犠牲にしても広間隔の高感度のものを使用する傾向にある。この現われが 4401, 4415, 4416 でありまた 7293 などをカラー用に使用する試みも行なわれている。

特種用途のものとして、低照度用の 6849, 7198 などにおいては、低照度における残像、SN 比の改善のため、特に間隔を 3.75 mm のように広くしたものがある。逆に走査変換用として低感度であるが最大 SN 比がいちじるしく高い P 812 のように間隔が 5μ 程度のものもある。

2. フィールド・メッシュ ターゲットの走査側に近接して平行に、フィールドメッシュを挿入した型式の管がつぎつぎと製品化された。3 インチ形ではフィールド・メッシュは G_4 電極に接続されており・メッシュに走査ビームが射突して発生する二次電子が信号電流に混入して SN 比を低下させるを防ぐため、電子銃の先端にサプレッサ・グリッドを加えて、これを陰極に接続して低速度二次電子を散らしている。したがって従来の管とまったく互換性がある。4.5 インチ形では互換性を考える必要がないので、フィールド・メッシュは独立に端子を有し、 G_4 電極電圧より 15~25 V 高くして、メッシュからの二次電子の影響を防止している。

フィールド・メッシュの効果は、ターゲット前面の電界を一樣にすることによって、まずビームがターゲット全面にわたって一樣に land するようになり、シェーディングがいちじるしく減少され、周辺の解像度も向上する。つぎに前面の電界が強くなるため、電荷パターンによるビームの偏向の影響が少なくなり、エッジ効果がいちじ

るしく減少される。さらにダイノードにおける戻りビームの走査面積が減少し、かつディホーカスの状態となるため、ダイノード・スポットの影響が減少する。したがって画質の向上に非常な効果があり、特にカラー用としては色合わせがきわめて容易となる。しかしこの反面欠点として、フィールド・メッシュのしゃ蔽によって信号電流が損失されるため、同じ SN 比を得るためにはメッシュのないものより若干ターゲット・メッシュ間隔を狭くする必要があり、感度はそれだけ低下するのは免れがたい。しかし画質の向上はこれを補ってあまりあるので、漸次この形式のものが主流をなす傾向にある。

フィールド・メッシュとターゲットの間隔は狭いほど有効で、これが十分狭くなると、エッジ効果によって制限されていたターゲット set-up 電圧を上昇することができ、最大 SN 比を向上するとともに、ターゲット利得も増加して感度の向上も可能となる。7513, 7293 などでは、この間隔は 10 mm 前後であり、set-up 電圧の上昇はあまり期待できないが、4.5 インチ形ではターゲット面積が広いことと相まって、set-up 電圧を 3V ぐらいに上昇することが可能である。OS 20 F, OS 40 F ではこの間隔がいちじるしく狭くなっており、set-up 電圧を 4 V ぐらいまで使用できると称している。

3. ダブルメッシュ 中間調の中に高輝度の被写体のある光景を撮像した場合、ターゲットへの二次電子の再分布によって、ブラックボーダー、ハロー、ゴーストなどの偽信号が生じ、画質を損う場合が多い。これを軽減する目的で考案されたものがこの形式で、NHK 技研と東芝中研においてまったく独自に開発された。ターゲットの光電面側に平行にメッシュを挿入して、適当な電圧を加えることにより、ターゲットからの二次電子を捕集するとともに、電子光学的にも捕集しきれない二次電子を出発点の近くに集束帰還させることによって、上記の偽信号の発生を軽減させる。この管の効果は NHK において、現業に使用して十分認められたが、従来の管との互換性が完全でないため、この点を改良するよう目下研究中である。

4. 大型化 管を大型にすることは、カメラが大型になる欠点を除けば、すべての特性において多かれ少なかれ有利となる。感度の点では、SN 比を一定とすれば変化はないが、ターゲットが大きくなるため、まず解像度が向上し、ターゲット・メッシュ間隔を狭くすることなく蓄積容量を増して SN 比を改善することができ、また偽信号が相対的に減少し、エッジ効果も減少するため、ターゲット set-up 電圧を上昇し得るなどの利点がある。4.5 インチ管はこれらの画質向上を目的として開発され最近広く使用されるようになった。

5. 小型化 移動用トランジスタ・カメラおよびカラー用カメラの小型化を計る要求が高くなり、イメージオルシコンの小型化が要求されるようになった。小型化の場合は、感度は別として、他の特性の低下は免れがたいが、現在 NHK 技研において 2 インチ形の試作研究が行なわれている。

6. ターゲット 現用のほとんどの管はガラス・ターゲットを用いており、これはイオン電導のため、使用時間とともに、ターゲット表面層に変化を生じて焼付が漸次増加し、寿命が制限される。また厚みに製作上の制限があるため、低照度における解像度が低下する欠点がある。これに対して種々の改善が行なわれているが、その一つは Philips 製の管 (55807, 55809) で、特殊のガラス・ターゲットにより焼付が非常に少なく、かつほとんど増加しない長寿命と称している。

GE では MgO のターゲットを用いた管 (GL-7629) を製品化した。これは MgO の $500\text{\AA}$ 程度の超薄膜で、電子電導となるため焼付の心配がなく、解像度は非常に高く特に低照度で著しい効果がある。またターゲット利得が高く高感度である。しかし現在のものでは、ターゲットの緊張度などの点からマイクロホニック・ノイズが発生しやすく、このためターゲット・メッシュ間隔を 250μ 程度としているので SN 比が低い欠点がある。この点が解決されれば、この形式は非常に有利なものとなろう。

この他 RCA で plug 形のものが発表されたが、これは多孔質の酸化アルミニウムから作った絶縁メッシュに金属を埋めこんだもので、考え方としては最も有効であるが、製作技術の点で従来実現されなかったものである。 MgO ターゲットと同様な特性を示すが、現段階ではキズその他の点から放送用としては実用化の域に達していない。

7. 光電感度および二次電子増倍部利得 現用の管ではほとんど Bi-Ag-O-Cs の S-10 光電面が用いられており、この光電感度は $30\sim 70\mu\text{A/lumen}$ である。数年前 RCA で S-20 (K-Na-Sb-Cs , マルチアルカリ) の光電面を用いた管 (7037) が製品化され、この光電感度が $200\sim 300\mu\text{A/lumen}$ であるため、非常に注目されたのであるが、種々の理由により問題点が生じ、直ちに製作中止となった。その後試作品を除いて、この形式の復活がみられないのは残念である。最近ではカラー用の感度向上の要求に対し、5820 の光電感度と二次電子増倍部利得を特に改善した 4401 をカラー用として製品化した。さらに 4401 にフィールドメッシュを挿入した 4415 および Blue 用として S-11 (Sb-Cs) 光電面を用いた 4416 が製品化された。これらはすべてカラー用として 3 本一組となっている。

8. 電極構造の精確度 カラー用として特に色合わせの容易さを計るため、電極構造の精確なものが要求され 7513, 4415, 4416 のカラー用および 4.5 インチ形の 7295-A, 7389-A ではこの考慮が払われている。

9. その他 低照度用として、工業、科学、軍事の閉回路用として用いる管の開発も、種々の目的に応ずるよう行なわれている。この詳細については、後述の解説および付表を参照されたい。

ビ ジ コ ン

ビジコンの最近の発展も誠に目覚ましい。特に感度の向上はいちじるしく、イメージオルシコンに匹敵するようなものも出現するに至った。放送用および閉回路用として、多方面の要求に応ずるよう、それぞれその特徴を有する種々の管種が製品化されたが、(1)放送用を主として高感度、高画質のもの、(7038, 7735, 7735-A)、(2)トランジスタ・カメラ用などのための低ヒータ電力で管長の短いもの (7262, 7262-A)、(3)これをさらに震動、温度、湿度、高度などの過酷な条件に耐えるようにしたもの (7263, 7263-A, 7226-A)、(4)さらに小型軽量に適するよう、静電集束、偏向としたもの (7225, 7522)、(5)赤外、紫外および X 線用のもの、などに大別される。

ビジコンの特性はほとんど光導電面、したがって光導電材料とその製法によって決定される。光導電面としては、感度が高いだけでなく、光導電残像が少なく、比抵抗が十分高く、使用温度範囲が広く、製作上一様性が得られやすいことなど種々の条件によって制限される。現在では、いぜんとして Sb_2S_3 を適当な方法で蒸着したものが主に用いられている。他に As_2Se_3 , ZnSe , PbS , PbO などの開発研究が行なわれているが、特種目的用または実験段階にある。ただ PbO は Philips で実用化され好結果を得ている。

ビジコンの感度、解像度、残像などの諸特性は互にに関連して、光導電面の製作上に種々の制限を課している。まず容量性残像およびエッジ効果のため、光導電面の蓄積容量はある範囲内に制限される。蓄積容量は光導電面の厚さ、走査面積および誘電率によって決定されるが、厚さは感度および一様性に、走査面積は走査ビームの aperture response と関連して解像度にそれぞれ影響を与える。したがって光導電材料およびこの製法が一定であるかぎり、一つの特性を強調するためには、他の特性を犠牲にしなくてはならない。現用の 1 インチ形は諸特性の適当な折衷の下に構成されたものであるが、フィルム送像用などのために特に解像度を改善し、感度を犠牲にした 1.5 インチ形 (C 73481)、解像度および残像は

第1図 最近の各種撮像管の光電変換特性

低下するが、小型高感度を目標とした0.5インチ形(C73456, C74053)、同じ1インチ形でも、高蓄積容量で非常に高感度であるが残像の大きいもの(7351)などがこの例である。

以下最近における改良点についてその概要を述べる。

1. 光導電面の一様性 従来管の排気工程において光導電材料の蒸着のため side tip を有し、光導電面が一様に製作されず、加える電界を強くすると、暗電流の非均一性が増加してシェーディングなどを生じて、高電界したがって高感度で使用できず、放送用としては6326などのように、暗電流を0.02 μ A程度に抑えて使用する状態であった。しかし、常温において面板を封じる方法が考案されてから、光導電面をあらかじめきわめて一様に蒸着することが可能となり、高電界で暗電流の大きい状態でも一様性が損われないようになり、高感度使用ができるようになった。また暗電流の高い状態では、光導電性残像は増すが、逆に容量性残像は減少し、総合して残像は低暗電流の場合よりほとんど増加しないことがわかり、暗電流0.2 μ A程度で高感度使用が可能となり、一桁近い感度の向上が実現された(7038, 7735, 7262, 7263など)。

2. 光導電面 従来は容量性残像を少なくし、感度を高めるため、 Sb_2S_3 を不活性ガス中で蒸着した porous な層と高真空中で蒸着した glassy な層の複合層が用いられてきたが、さらに高感度な光導電面がRCAで開発された。この詳細はまだ公表されていないが、残像もほとんど変わらず、感度は約一桁向上し、また最高使用温度も71 $^{\circ}$ Cと高くなった(7262-A, 7263-A, 7735-A)。

3. 解像度 ビジコンの解像度は主に走査ビームによる aperture response で決定されるが、集束電極電圧および集束磁界を高めることによって、解像度を改善する方法が7735-Aなどで実施され、400本で変調度が従来の30%から45%に、限界解像度は600本から900本に上昇した。また1.5インチ形(C73481)では集

束電圧を1000Vとしたとき、400本で68~78%、限界解像度は1200本と発表されている。

その他の撮像管

アイコノスコプは既に姿を消したが、イメージアイコノスコプは、スーパーエミトロン、ホチコン、ベスチコン(英)、エリスコプ(仏)、リーゼライコ(独)などの商品名のもとに、欧州方面においてはスタジオあるいはフィルム送像用としてなお使用されている。しかし最近では特に新しい改良結果の発表も見受けられない。

CPSエミトロンは、従来比較的低感度が低く、安定な光電変換範囲が狭い点があるにも拘らず、非常に高画質である点を買われて、主に英国方面でスタジオ用として使用されてきたが、最近光電モザイクの前面にサブプレッサ・メッシュを挿入することによって、光電変換特性に飽和部分が生じ、イメージオルシコンのように入射光に対し安定となった。また光電面にマルチアルカリを用い、感度もいちじるしく改善された。

理論および実験的研究

最近における撮像管に関する理論および実験的研究は非常に目覚ましい。撮像管の動作機構および現象は非常に複雑であり、解明されないことが多大であったが、急激にこれらを解析的に実験的に究明することが進められ撮像管の改良に非常な効果を与えた。低速度走査における beam landing から信号発生機構の問題、残像の問題、解像度の問題、エッジ効果の解析、ブラックボーダーなどの解析とその対策、ターゲット利得の新しい理論、フリッカの解析と実験、ビートパターンの解析など多方面にわたる研究が発表されたが、このうち多くのものがわが国撮像管の研究陣によって行なわれたことは、誠に欣快に耐えない。しかしこれらの分野には、なお未解明の点が少なくなく、今後の発展がのぞまれる。

最近の撮像管の感度の比較

撮像管の感度の比較は非常に複雑なものであり、この詳細については、次の解説で述べられるが、ここでは一応参考のため、現在使用されているイメージオルシコンビジコンおよびCPSエミトロンの光電変換特性を掲げる。撮像管の感度は光電面への入射光束量によって決定され、一応普通使用状態における最高入射光量の多少によって感度が比較される。図から明らかなようにビジコンの感度の改善はいちじるしく、7735-Aなどの最近の管では、イメージオルシコンとほとんど同じ感度となっている。もしSN比を考慮に入れ、同じSN比の場合の入射光量から比較すれば、むしろビジコンの方が高感度となっている。

(昭和36年8月15日受付)