焦電ビジコンの電極系ならびに動作条件の検討

正会員 岡 本 忍[†], 正会員 畑 中 義 式[†]

あらまし PVF₂ (Polyvinylidene fluoride) 薄膜をターゲットとし、特別の電極構造をもつ焦電ビジコンが考案され、この電極構造は、従来のガス封入形管のガス圧よりも低い圧力で信号電流を読出すのに十分なペデスタル電流が得られることが示された。さらに、電子ビームのターゲットランディング特性を検討し、管のビーム温度を下げて使用することにより、感度の向上に有効なことが示された。

1. ま え が き

近年、熱像の可視像変換に焦電材料をターゲットに用いた焦電ビジコンの研究が盛んである。焦電ビジコンは赤外線像を焦電ターゲット上に結像させ、焦電効果により生じた電荷像を電子ビームの走査により読出す赤外撮像センサーである。焦電ビジコンは温度の変化に比例した信号電流が得られ、静止した物体の撮像には入射光の断続操作が必要であるが、サーモグラフィ装置のように検出器を冷却する必要がなく、可動鏡による機械的走査の代りにテレビシステムの電子ビーム走査をそのまま利用して熱像の可視像変換が可能である。

焦電ビジコンは、まず Holman¹⁾, Choles²⁾ 等により TGS (Triglycine sulfate) 結晶の薄板ターゲットを用いて研究が始められ、その後、焦電性能の良いターゲット材料の開発が進み、DTGS, DTGFB³⁾, PbTiO₃⁴⁾, PbGeO₅⁵⁾, PVF₂^{6,7)} 等を用いた撮像管について報告された。2次元検出器としての焦電ビジコン用ターゲット材料は、焦電性能とともに解像度を決定する熱拡散係数が重要な物性定数である。焦電材料のうち、酸化物強誘電体は焦電性能は大きいが熱拡散係数が大きく、PVF₂ (Polyvinylidene fluoride) の高分子フィルムは焦電性能は小さいが熱拡散係数が小さいという特

徴を持っている。これら両者の利点を併せて生かし、感度および解像度の向上のためにターゲットを島状化する研究も行われている^{3,4)}。

焦電ビジコンはターゲットが絶縁体に近いため、電子ビームによりターゲット上には負電荷が蓄積される。蓄積された電荷は何らかの方法で取り去らないと、ターゲット面電位はカソード電位よりも低い電位となり、電子ビームが流入できず、信号の読出しができなくなる。したがって、適当な方策を講じてターゲットを動作電位、すなわち、ターゲットに電子ビームが流入できる程度の電位に維持しなければならない。そのために管内に不活性ガスを封入し、ガスの正イオンをターゲット上にシャワーさせ、ターゲット上の負電荷を中和する方法^{1)~4)}、ターゲットへ高速電子を当て、2次電子によりターゲット上の負電荷を取り去る方法^{8,9)}、および、ターゲットに導電性を持たせて負電荷を漏洩させる方法^{5,10)}の3種類がある。2次電子による方法は、2次電子の再分布の不均一性によるシェーディングおよびターゲット上の2次電子放出比 δ のばらつきによるターゲットの傷が出やすいこと等の難点がある。また、導電性のあるターゲットとしてPbGeO₅の研究がなされているが、酸化物強誘電体は熱拡散係数が大きく、導電率に不均一性があるという物性的問題が残っている。

筆者らは、ターゲットとしてPVF₂薄膜を用い、ターゲットの電子ビーム走査側にストライプ状の微細電極を作り、その上に蒸着された高抵抗層を通してターゲット上の負電荷をストライプ電極へ漏洩させる方法を考案し、高真空管でターゲット面電位をカソード

[†] 静岡大学 電子工学研究所

"Study of Electrode System and Operating Condition in Pyroelectric Vidicon" by Shinobu Okamoto and Yoshinori Hatanaka (Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Hamamatsu)

図 1 焦電ビジコンの等価回路
Equivalent circuit of pyroelectric vidicon tube.

電位付近に安定化させ得るターゲット構造について発表¹⁰⁾¹¹⁾。しかしながら、この方法ではストライプ電極部分の面積が入射光に対して不感となり、開口率が悪くなるために、感度の点で不利となることを免れない。

今回、ガス封入形焦電ビジコンにおいて電子銃の電極構造に着目し、できる限り少量の封入ガスで多量のイオン電流を有効に発生させ、しかも、それをターゲット全面均一に利用できるような電極を考案し改善を進めた。さらに、電子ビームの速度分散と信号電流との関係について検討し、ターゲットから取り出し得る信号電流の増大と SN 比、シェーディング等を改善し、管の性能向上を図った。

2. 信号読出し動作

焦電形撮像管に適用した等価回路を図 1 に示した。 i_s は焦電流であり、直流分を含まない交番電流源で、次のように表される。

$$i_s = i_0 Q(f, n, v) \quad (1)$$

ここで、 i_0 は入射光強度によって決まるものであり、

$$i_0 = s \frac{pW}{C_p \rho L} \quad (2)$$

で表される。 s は絵素面積、 p は焦電係数、 C_p は定圧比熱、 ρ は密度、 L はターゲット膜の厚さである。 W は入射光のターゲットに吸収されるパワーである。図 1 において、 V_t はターゲット電圧、 R_L は負荷抵抗である。 i_p はターゲット自身が絶縁物であるために、イオン電流を介してターゲット表面に流れる一定の電流を表し、ペダスタル電流となるものである。焦電流は交流的信号であり直流分を含まない。したがって動作に必要なペダスタル電流を中心として交流的信号電流が重畳したかたちでターゲット電流が取り出されることになる。 R_b は電子ビームのターゲットへのランディング特性、すなわち電子ビームの速度分布特性により決まるビーム抵抗で、電子ビームのランディングするターゲットの表面電位により大きく変り、これは

i_p の値によって支配され決められる。焦電流 i_s が電子ビームによって読出される動作は光導電形撮像管の光導電性残像と容量性残像の重畳した残像の計算と類似させて理解することができる。

(1) 式の i_s はターゲットが薄い膜であり、膜の厚みの方向の熱拡散の時間を無視するとき、 Q は空間的・時間的に入射光が正弦波的に変化する場合、次のようである¹⁾。

$$Q(n, f) = \left\{ 1 + \left(\frac{2\pi a n^2}{f} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad (3)$$

(1), (2), (3) 式をラプラス変換のステップ関数変換により時間応答を求めると、単純な 1 次の時間応答として求められる。すなわち光の入射時には、

$$i_s = i_0 \exp\{-(t-t_1)/\tau\} \quad (4)$$

入射光の遮断時には、

$$i_s = -i_0 \exp\{-(t-t_2)/\tau\} \quad (5)$$

t_1, t_2 は光を入射または遮断した時刻である。ここで、

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + (2\pi n)^2 \alpha \quad (6)$$

として与えられ、 α はターゲット膜の熱拡散係数、 τ_0 は光吸収膜等付加的に加わる熱拡散因子に対する熱時定数を意味する。

電子ビームによる信号の読出しは、ターゲットへ電子ビームがランディングすることにより電荷の充放電がなされ¹²⁾¹³⁾、ターゲット信号電流を i_t 、ターゲット上の表面電位を V とすると、光導電形ビジコンにおいて、吉田ら¹²⁾により定式化されたものを同様に用いることができる。すなわち、

$$C \frac{dV}{dt} = -i_b + i_t \quad (7)$$

ここで、光導電形撮像管では i_t はターゲットを通して流れる導電電流であるが、焦電ビジコンではターゲットが絶縁物であるために導電電流は流れない。しかしながら、管内のイオンがターゲットにシャワーされる^{1)~4)}とか、特別の方法により^{5)8)~10)}、ターゲットに一定の電流が流れるよう等価回路で示された i_p の電流源からの電流が流込み、また、焦電効果による電流源 i_s がこれに重畳し、光導電形の導電電流 i_t と等価なものとなっている。すなわち、

$$i_t = i_p + i_s \quad (8)$$

ターゲット面上に流入する電子ビーム電流は、そのビーム温度と、ターゲット面電位によって流入量が支配され、

$$i_b = I_b \exp(-aV) \quad (V < 0) \quad (9)$$

$$i_b = I_b \quad (V > 0) \quad (10)$$

と考えられる。電子ビームを走査したときにおける読出される信号電流の関係は、光導電形のビジコンと同じ取扱いによって求めることができる。ただし、信号電流が光導電形では暗電流と光導電電流の重畳で表されるが、焦電形では上記のように、ペデスタル電流と過度的交流的な焦電流との重畳電流となっているものである。通常、電子ビームは読出される信号電流より充分大きい値であり、ターゲットの表面電位は(7)式で示される領域にある。このとき読出される信号電流の関係は光導電形の場合と同様であり、ペデスタル電流は単位絵素の i_p を走査全面にわたって集めたもので I_p とし、また焦電流は I_s 、さらに走査全面のターゲット容量を C とすると、 I_p のペデスタル電流で読出しが平衡になっているとき、光の入射が行われ、 N 回目の走査における信号電流 I_{tN} は、吉田¹²⁾らの解析と同様の手法により次のように求められる。

$$I_{tN} = \frac{C}{aT_f} \ln \left[\frac{E_p^N + (1+E_p) \sum_{r=1}^{N+1} E_p}{E_p^N + (1-E_p) \sum_{r=1}^N E_p^{N-r+1}} * \frac{\exp\{I_s^*(1-E)^{r-1}\}}{\exp\{I_s^*(1-E)^{r-1}\}} \right] \quad (11)$$

ここで、 T_f はフィールド走査期間であり、またこの取扱いにおいては飛越走査の考慮を省略しているが、焦電形では解像度が 200 TV 本以下で充分であり問題はない。

(11)式において、

$$E_p = \exp(-aI_p T_f / C) \quad (12)$$

$$E = \exp(-T_f / \tau) \quad (13)$$

$$I_s^* = aI_0 \tau / C \quad (14)$$

である。ここで I_0 は(2)式の絵素における i_0 を走査

図2 信号電流の電子ビームによる解析的読出し特性 (パラメーターはペデスタル電流、空間周波数 n : 20 cm⁻¹、入力信号のピーク値 I_0 : 5 nA)

Analytical characteristics of signal read out by electron beam. Parameters are pedestal currents I_p , and spatial frequency n , 20 cm⁻¹ and input signal peak I_0 , 5 nA.

面全体にわたって集めたものである。上式において光遮断後 N 回目の信号電流を求めるときには $I_s^* = -aI_0 \tau / C$ とする。焦電ターゲットではターゲットの分極方向により信号電流の極性が決まるため、上記の取扱では光が入射し、温度が上昇したとき電子ビーム走査側に正電荷が誘起する方向にターゲットを設置するものとした。以後の取扱いおよび実験においても同様である。

図2には(9)式の計算より光入射時に読出される信号電流の計算例を示す。ここで、空間周波数 $n=20$ のものであり、パラメーターはペデスタル電流である。焦電流信号は過度応答の減衰信号電流であるために、ペデスタル電流を充分流して速やかに信号電流を読出さないとターゲット上の信号は減衰して完全に読出すことができない様子を示している。 $I_p=30$ nA のとき、 I_0 が 5 nA に対し、読出し得る信号電流のピー

図3 信号電流の解析的読出し特性 (パラメーターは空間周波数 n 、ペデスタル電流 I_p : 1 nA、入力信号のピーク値 I_0 : 5 nA)

Analytical characteristics of signal read out. Parameters are spatial frequencies n and pedestal current I_p , 1 nA and input signal peak I_0 , 5 nA.

図4 信号電流の解析的読出し特性 (パラメーターは空間周波数 n 、ペデスタル電流 I_p : 50 nA、入力信号のピーク値 I_0 : 5 nA)

Analytical characteristics of read out signal. Parameters are spatial frequencies and pedestal current I_p , 50 nA and input signal peak I_0 , 5 nA.

ク値は 60% に下る。 I_P が大きいほど読出しは迅速に行われるが、ペダスタル電流によって生ずるシェーディングおよびノイズ等の問題により制限され、画質の点で実験的に適当な I_P の値は 10~50 nA 程度であった。

図 3、図 4 にパラメーターを空間周波数にとり、 $I_P = 1$ nA の場合と、 $I_P = 50$ nA の場合のそれぞれの読出し信号電流 I_{SN} を示した。 $I_P = 1$ nA では空間周波数の高いところで信号電流の減少が著しい。 $I_P = 50$ nA では I_{SN} は数フィールドで最大に達し、高い空間周波数での信号電流の減少は少ない。 MTF の特性を良くするためには充分な I_P の電流が必要である。 ここにおいては電子ビーム温度の定数 a は 3.0 (V^{-1}) を用いており、約 4 000 K を仮定している。 ビーム電流の少ない領域は、通常の電子銃では第 2 指数と呼ばれるところで¹³⁾¹⁴⁾、電子ビーム温度は 4 000~6 000 K にまで高くなっている。

ビーム抵抗は、指数領域においてほぼ $R_b = kT_b / i_{Pe}$ で表され、ビーム温度 T_b が低ければペダスタル電流 i_P は小さくても同等の読出しができることになる。 ここで k はボルツマン定数、 e は電子の電荷である。 i_P を大きくすることは雑音の点で不利であり、 i_P を少なくかつ R_b を小さくするためには T_b を低く

しなければならない。 焦電ビジコンでは、焦電流 I_s は数 nA 以下と非常に小さい値であり、雑音を極力抑えなければならない点から、 T_b を低くすることは特に重要なことである。

3. イオン電流の発生

3.1 電極の構造とイオン電流分布

通常のガス封入形焦電ビジコンは、走査用電子ビームにより生ずるイオン電流をターゲットにシャワーさせ、ターゲット上に蓄積した負電荷を中和させている。 図 5 (I) に一般的に知られているガス封入形焦電ビジコンの電極構造を示す。 この構造では、 G_4 電位は G_3 電位より高く取られ、偏向された電子ビームが G_4 のメッシュの位置で管軸に平行になるように整列されてターゲットに垂直に到達するようになっている。 したがって、電子ビームによって生じた正イオンは、メッシュとターゲット間で生じたものがターゲットにシャワーされることになる。 この空間で発生するイオン電流は、メッシュ・ターゲット間隔を 3 mm とするとき、実測によると図 6 のようである。 これからわかるように、信号読出しに必要な 10~50 nA 程度のペダスタル電流を得るためには、 10^{-3} torr 程度の低い真空度とすることが必要である。

筆者らは、カソードの寿命ならびに管の動作の安定性を向上させるために、でき得る限り高い真空度を保ちつつ動作に充分なガスイオンがターゲット全面に均一にふりかかるような電極構造につき検討と改善を試みた。 すなわち、電子ビームが管軸と平行に整列された後、ターゲットに到達するまでの空間を大きくとり、管軸に平行な減速電界を作るような電極系を考案し、図 5 (II) に示すような構造のものを検討した。 G_3

図 5 焦電ビジコンにおいてイオン電流を増加させるための電極構成

Configuration of electrodes for increasing ion current in pyroelectric vidicon tube.

図 6 従来の電極構造の焦電ビジコンにおいてイオン電流のガス圧力に対する依存特性

Dependence of ion current on gas pressure in the conventional pyroelectric camera tube.

図7 図5に示す電極において、イオン化領域の等電位図とイオン軌導の図(この図のI, II, IIIは図5のII, III, IVに対応している)

Equipotential mapping in ionizing region for electrode as shown in Fig. 5 and ion trajectories. Type I, II and III in this figure are corresponded to type II, III and IV in Fig. 5.

の偏向領域のイオンを阻止するために G_3 メッシュを取りつけ、ターゲット直前の G_5 との間に減速電界を一樣にするために、 G_{4-1} と G_{4-2} の2つの電極を入れた。電子ビームは G_3 から G_4 に入るところで管軸に整列されターゲットに達する。 G_4 内部の空間で発生した正イオン軌道を計算機シミュレーションにより求めたものを図7(I)に示す。 G_4 空間で生じたイオンは、ほぼ一樣にターゲットに達することが理解される。 G_4 を2分割以上細分すれば周辺での一樣性はさらに向上する。しかし、電極数を増加させることは撮像管の製作の上で煩雑なものとなる。したがって、逆に電極数を少なくした実用上さしつかえない電極構造を検討し実用性を調べた。図5(III)と(IV)にその構造を示し、また、これのイオン軌道を図7(II),(III)に示す。図7(II)の場合、イオンは G_4 電極に集められるものがあるが、全体として発散してターゲットにシャワーされ、 G_4 電圧の選択によっては一樣性が期待できる。図7(III)の場合は G_3 と G_4 における弱い発散と G_4 と G_5 における弱い集束が合せられて、全体

として、ほぼ一樣なイオンシャワーの条件が得られることがわかった。なお、計算の結果 G_4 のほぼ中央からターゲットにイオンが到達するに要する時間は各電極の電圧配分によっても異なるが平均して約 $5\mu s$ 程度である。このことは、電子ビームの通過後遅れてイオンシャワーのあることを考慮しなければならないが、しかし、これは直流的なペダスタル電流を与えるのに寄与するのみであり、信号電流に影響を及ぼすものではない。

3.2 イオン電流の測定

実験では電極製作上の都合により図5(III)と(IV)の

図8 メッシュ電極 G_4 電圧対ターゲットイオン電流
Ion current landed on the target versus mesh electrode G_4 voltage.

図9 メッシュ電極 G_5 電圧対ターゲットイオン電流
Ion current landed on the target versus mesh electrode G_5 voltage.

形の電極について検討を行った。図8に図5(III)の電極構造の G_4 電圧の変化に対するイオン電流の特性を示す。パラメーターはビーム電流である。 G_3 電圧に対し G_4 電圧を低くするにしたがってイオン電流は大きく増大している。イオン電流のターゲット面での均一性は G_4 電圧270 V程度でほぼ均一な分布が得られ、計算機シミュレーションと同じ結果が得られている。この電極構造では、 G_4 領域で発生したイオンは発散しながらターゲットにシャワーされるので、イオン量を増加させるために G_4 電圧を強く下げると中央のイオン量が不足するという難点がある。

図9には、図5(IV)の電極構造のイオン電流の測定結果を示す。 G_3 電圧を300 V、 G_4 電圧を275 Vとし、 G_5 電圧を変化させた場合のイオン電流の特性は、 G_5 電圧を下げるに従ってイオン電流が急激に増大し、メッシュとターゲット間のイオンのみを利用した場合の10倍以上のイオン量が得られる。電圧配分値はほぼ計算機シミュレーションで均一性の良好な値付近でターゲット全面均一なイオンシャワーが得られた^{15)~17)}。このことは、従来の電極構造のものに比べ、同じガス圧で同じビーム電流とした場合の10倍以上のイオン電流が得られるので、管内のガス圧を10分の1以下にしても同じ効果が得られることを示し、動作の安定性ならびに管の長寿命化の点で有利である。

4. ガス封入管のビーム温度

電子ビームがターゲットにランディングするアクセプタンス特性を調べ、ビーム温度の検討を行った。測

図10 高真空形管とガス封入形管の電子ビームのターゲットアクセプタンス特性の比較

Comparison between target acceptance characteristics of electron beam in hard vacuum tubes and soft vacuum tubes.

定管は1インチクロスオーバー形3電極電子銃を用い、ターゲットはガラス面板にAuを真空蒸着したものである¹⁵⁾。

図10に高真空形管とガス封入形管のターゲットにおける電子ビームのアクセプタンス特性を示す。ガス封入管における測定の場合、ターゲット電流にはイオン電流が重畳するので、この量を差し引くために次のような方法をとった。

イオン電流はメッシュ領域から加速されてターゲットに流入するために、ターゲット電位の数Vの変化に対し無関係である。これに対し、電子ビームはターゲット電位をカソード電位以下数Vとすることにより、ターゲットへの流入は阻止されるために、ターゲット電流はイオン電流のみとなる。このような方法により電子ビームのみのターゲットへの流入量を測定した。図から明かなように、ガス封入管の特性は、高真空管の特性とほとんど同じ傾向を示し、真空度 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ torrの範囲の管ではガスの影響による特性の相違は認められなかった。なおこの場合、測定管の封入ガスとしては超高純度Arガスをを用い、ガス圧 2×10^{-4} torrとし、ビーム電流量は G_1 電圧を変化して測定を行った。

クロスオーバー点の電子密度は、ほぼガウス分布しており¹⁸⁾、 G_1 電圧に依存してクロスオーバー点の電子密度が変わることが知られている¹⁹⁾。すなわち、 G_1 電圧を低くし、ビーム電流を大きくするときクロスオーバー点の電子密度は高くなる。したがって電子相互

図11 G_1 および G_2 電圧に対するターゲットアクセプタンスの依存特性

Dependence of target acceptance characteristics on the voltage applied to electrode G_1 and G_2 .

の衝突による速度の分散が大きくなり、ビームの実効温度が高くなる。焦電ビジコンにおいてはターゲットが絶縁物であり、イオン電流でペDESTAL電流を与えているにしても、ターゲット電流はビームアクセプタンス曲線の微小電流領域、いわゆる第2指数領域¹³⁾¹⁴⁾と呼ばれるところで動作させていることになる。よって実効ビーム温度は、光導電形撮像管で使われているものよりもはるかに高いビーム温度の点で使用されているものとみななければならない。第2指数領域のビーム温度を下げるためにはクロスオーバー点の電子密度を下げる方法や、クロスオーバー点の電位を低電位にする方法等が考えられる¹⁴⁾¹⁹⁾。

筆者らはビーム電流が一定となるように G_2 電圧を下げ、また、 G_1 電圧もほぼ 0 V 近傍とした場合について検討した¹⁵⁾²⁰⁾。図 11 に示すように、特に微小電流領域のビーム温度が G_2 電圧を下げるに従って低くなっている。すなわち電子ビーム温度は G_2 電圧が標準電圧程度の 250 V の場合に比べてはるかに低下し、2 000 K 程度となっている。もちろんダイオードガン構造を採り上げてもビーム温度を下げられるが⁸⁾²¹⁾、本方式でもほとんど同程度の値である。

5. 改良焦電ビジコンの特性

上記のように管の高性能化を目指し、諸要因の検討と改良実験を重ねたうえで、ガス封入形焦電ビジコンを試作して特性を調べた。封入された Ar ガス圧は 1.0×10^{-4} torr である。

試作管には図 5 (IV) 形の改良電極を用い、ターゲット材料の PVF₂ フィルムは 6 μ m 厚のものを使用した。PVF₂ フィルムは径 20 mm ϕ の金属枠に張り、赤外線透過窓 (Ge 面板 2 mm 厚) と約 3 mm の間隔をとりマウントした。PVF₂ フィルムの光入射側に赤外線吸収層として Bi 黒 (約 2 μ m 厚) をつけ²²⁾、信号電極を兼ねさせた。また、ターゲットのビーム走査側全面には電子ビームの様な受容特性を得るために Sb₂S₃ (約 1 000 Å 厚) を真空蒸着した。

5.1 被写体温度対信号電流特性

図 12 にビーム電流を 200 nA 一定とした場合の被写体温度対信号電流の特性を示す。テフロンコートした金属均熱板を被写体として用い、Ge レンズでターゲット全面に結像させるようにし、シャッターを閉の平衡状態からシャッターを開とし、ステップ関数的に照射した。この時の信号電流は、 G_1 電圧 -40 V、 G_2 電圧 300 V で、室温 10°C の場合、熱源温度 30°C で 3 nA、50°C で 6 nA が得られた (図 12 の実線にて示す)。この場合、ペDESTAL電流は約 10~20 nA と推定さ

図 12 温められた被写体に対する焦電ビジコンの読出し信号電流

Read out signal of pyroelectric vidicon to the warmed object.

れる。

さらに、前述のように、ビーム温度を低くして使用すれば出力の向上が図られるので、電圧配分をかせ G_1 、 G_2 を低く設定した場合の信号電流を測定し、標準電圧で使用した場合とを比較検討した。ビーム電流を前と同じ 200 nA とし、 G_1 電圧 0 V、 G_2 電圧 50 V に設定した場合は、30°C で 4 nA、50°C で 7 nA 程度の信号電流が得られている (図 12 の破線にて示す)。特にこの使用法は、低電流域における効果が大きいので、微小出力信号の赤外線像の撮像に有利であることがわかる¹⁶⁾。この場合の信号は PVF₂ フィルムの性能指数⁶⁾¹¹⁾より求めた (14) 式における I_0 の値にほぼ近

図 13 PVF₂ 焦電ビジコンの振幅変調度特性 (チョッピング周波数 2 Hz、白円は実験値、実線は計算値)

Modulation transfer function of PVF₂ pyroelectric vidicon operated in the condition of chopping frequency 2 Hz. Open circle is experimental and solid line, calculated.

写真 1 手の受像写真(背景温度 10°C, カメラから 2 m の位置でパニング速度 20 cm/sec)

The thermal image of human hand against the room temperature (10°C) back ground. The object is at 2 m from the camera and is in motion (20 cm/sec).

く、ターゲット上に発生した電荷がほとんど全部読出されているものと考えられる。

5.2 撮像実験

改良管の撮像実験は、身近な人物の顔とか手のパップ撮像をパニングおよびチョッピングモード操作によって行った。

写真 1 の受像写真は、管の G_1 電圧 0 V, G_2 電圧 50 V の電圧配分で、背景温度 10°C のとき、カメラからの距離 2 m の位置に手を置いて、パニング操作によって撮像したモニター像である。管の赤外窓材の Ge 面板 (2 mm 厚) は 10 μ m を中心に反射防止のコーティング処理をしたものであり、カメラレンズは f : 89 mm, F : 0.89 の Ge 単レンズである。試験装置は一般のビジコン用標準テレビ方式 (走査線 525 本, 60 フィールド, 30 フレーム毎秒) のものをそのまま使用し、感度の不足を補うためにオーバースキャンとしている。

図 13 は上と同じ電圧配分で、室温との温度差 30°C の解像度テストパターンを撮像した管の解像度を評価する MTF 特性である。比較のために理論特性も示したが、理論値はターゲットの熱拡散によって生ずる変調度特性¹⁾で、熱拡散係数は公表のもの 0.5×10^{-3} cm²/sec と共に、筆者らが実験により求めた値 1.5×10^{-3} cm²/sec¹⁷⁾²³⁾ を用いた。理論では電子ビームによる信号の読出しに起因する解像度の劣化を算入しておらず、また、実験では赤外線吸収層の影響、解像度測定のためのパターン自身の高解像度域における温度差の減少等の原因により誤差が生じているものと思われる。

今後さらに研究を続け、高性能ターゲット作成技術

の開発と、最適条件の実験的把握により、高分子フィルムの特徴を生かした使い方ができるものと考えている。

6. む す び

焦電ビジコンにおいては、信号の読出しに、管内のイオンをターゲットにシャワーさせ、ターゲット面電位の安定化を図るガスイオン法で良い結果が得られている。

本論文では、ガス封入管において改善を試みた。すなわち、できる限り少量の封入ガス量で必要なイオン電流量を得るための電極構造を考案し、計算機シミュレーションによる結果と実験とを対比させ、均一性の良いイオン電流と安定な動作の得られる条件を見出した。改良実験の結果、同じイオン電流量に対し管内のガス圧を 1 桁以上上げても、より安定な動作のできることが確かめられた。

また、ビームのターゲットに到達するアクセプタンス特性について封入ガスの影響を調べ、高真空管におけるアクセプタンス特性とほとんど差異のないことがわかった。さらに、等価ビーム温度は、ターゲット上の電荷の読出し効率に大きく影響し、特に焦電ビジコンでは微小電流領域の、いわゆる第 2 指数領域のビーム温度が支配的な役割をなし、通常の 3 極形電子銃においてはクロスオーバーの点で生ずる電子ビーム温度の上昇を極力抑える必要がある。この観点から G_1 の電圧を 0 V 近傍とし、 G_2 の電位を下げて用いる方法により、ビーム温度を 2 000 K 程度に下げられ、信号の読出し効率の向上を図ることができた。

実験では、ターゲット材料として PVF₂ フィルムを用いて行った。PVF₂ フィルムは極めて薄く、かつ大面積のものが作成でき、熱拡散係数の小さいことから TGS 系のターゲット材料に比べて解像度の点において有利である。しかしながら、現在のところ焦電係数が小さいので、出力信号が小さく、SN 比の悪化により、その有利性が充分には活用されていない。その改善策として、例えば、適切な信号処理法の採用とか²⁴⁾、ターゲット面積の拡大を図ること等により管の高性能化が可能であると考えられる。また、筆者らは別の実験で、PVF₂ フィルムの異方性熱拡散について検討を行っている²³⁾。このことは、これをターゲット材料として利用する場合、設計上考慮に入れなければならない問題である。

本研究にあたり、電子銃内のイオン軌道ならびにイオン走行時間の計算に、浜松テレビ KK 鈴木義二、加藤隆仁両氏の御協力を得た。PVF₂ フィルムは、呉

羽化学開発研究所の御厚意により提供されたものである。ここに深甚なる謝意を表する。また、本研究に対し、良き御助言、励ましをいただいた西田亮三名誉教授に、さらに本研究に深い御理解を示された上、御討論をいただいた安藤隆男教授、ならびに試作管の作成に協力された浦田孝延、青山満両技官に対し、併せて謝意を表する。

(昭和 57 年 1 月 28 日受付, 昭和 57 年 3 月 23 日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) B. R. Holman and W. M. Wreathall: Thermal-Imaging Camera Tube with Pyroelectric Targets, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **4** (1971) 1898
- 2) D. R. Chales and F. Le. Carvennec: Infrared Pick-up Tube with Electronic Scanning and Uncooled Target, *Adv. Electronics & Electron Phys.*, **33 A** (1972) 279
- 3) P. J. Pool and D. J. Pedder: A Pyroelectric Vidicon with Reticulated Target, *Adv. Electronics & Electron Phys.*, **52** (1979) 23
- 4) E. Yamaka, A. Teranishi, K. Nakamura and T. Nagashima: Pyroelectric Vidicon with Grooved Retina of PbTiO_3 Ceramics, *Ferroelectrics*, **11** (1976) 305
- 5) R. Watton, G. R. Jones and C. Smith: Pyroelectric Materials for Operation in a Hard Vacuum Pyroelectric Vidicon, *Adv. Electronics & Electron Phys.*, **40 A** (1976) 301
- 6) 寺西, 山香: 焦電型赤外線ビジコン, *テレビ学会技術応用研資*, 24-1 (1976)
- 7) 岡本, 畑中, 加藤, 西田: PVF_2 フィルムを用いた焦電型ビジコンターゲットの基礎研究, *テレビ全大*, 3-3 (1976)
- 8) B. Singer: *Advances in Image Pick Up and Display*, edited by B. Kazan, Academic Press, New York, London, **3** (1977) 1-82
- 9) 畑中, 鹿野: 焦電効果に応用した撮像管の基礎研究, *信学誌*, **58-B** (1975) 505
- 10) 西田, 畑中, 岡本: 焦電型撮像管, ストライプ電極構造ターゲットに関するもの, 特許公告 56-036546
- 11) Y. Hatanaka, S. Okamoto, and R. Nishida: Hard Vacuum Tube with Pyroelectric Target of PVF_2 Film, *Adv. Electronics & Electron Phys.*, **52** (1979) 31
- 12) O. Yoshida and Y. Kiuchi: Calculations of Image Lag in Vidicon-Type Camera Tubes, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **10** (1971) 1203
- 13) B. Meltzer and P. L. Holmes: Beam Temperature Discharge Lag and Target Biasing in Some Television Pick-up Tubes, *British J. Appl. Phys.*, **9** (1958) 139
- 14) 倉重: 撮像管電子ビーム系と容量性残像の因果関係, *NHK 技術研究*, **30**, 2 (1978) 45
- 15) 岡本, 畑中, 青山, 安藤: PVF_2 焦電ビジコンにおける電子ビーム系の検討, *テレビ全大*, 3-2 (1980)
- 16) 岡本, 畑中, 青山, 安藤: PVF_2 焦電ビジコンの高性能化, *電気関係学会東海支部連大*, 259 (1981)
- 17) 岡本, 畑中, 青山, 安藤: PVF_2 焦電ビジコンの電極改良とターゲット熱拡散性の検討, *テレビ全大*, 4-14 (1981)
- 18) 木内, 作佐部: ビジコンの電子ビームの直接測定(II), *テレビ学会電装研資*, ED 300 (1976)
- 19) 江幡, 福島, 後藤, 小楠: 低残像電子銃のサチコンへの応用, *テレビ学会電装研資*, ED 343 (1977)
- 20) 岡本, 畑中, 河合, 青山, 安藤: 焦電ビジコンにおける電子ビーム系の検討, *電気関係学会東海支部連大*, 402 (1979)
- 21) 小楠: ダイオードガン方式撮像管, *テレビ誌*, **34**, 8 (1980) 726
- 22) S. Okamoto, and Y. Hatanaka: Infrared Absorption and Thermal Diffusion of Bismuth Black on PVF_2 Film, *Bull. Bismuth Inst.*, **33**, 3/4 (1981) 8
- 23) S. Okamoto and Y. Hatanaka: Anisotropic Thermal Diffusion of PVF_2 Film, *Jpn. J. Appl. Phys. Suppl.*, **20-4** (1981) 115
- 24) 山香, 中村, 寺西: 赤外撮像センサー, *テレビ誌*, **34**, 9 (1980) 791

**Suppression Characteristics of the MACH
Phenomenon in Staircase Patterns**

by Hideo Kusaka

It has been found that when the edge transitions of the steps of staircase patterns were emphasized by means of a waveform which was similar to that of a second derivative waveform, brightness could be perceived more uniformly and as if the Mach phenomenon had been suppressed.

This report describes the results of quantitative measurements and considerations of the differences in brightness, that occur in the appearance of a staircase waveform pattern when the contour is, or is not, emphasized. Its effect to the picture quality is also discussed.

J. Inst. TV Engrs, Vol. 36, No. 8 (1982) 726~732

**Study of Electrode System and Operating
Condition in Pyroelectric Vidicon**

by Shinobu Okamoto, Yoshinori Hatanaka

A pyroelectric vidicon with a PVF₂ (polyvinylidene fluoride) film as the target, and with a special electrode system has been designed. Results of the investigation have shown that the electrode system provides the pedestal current necessary for reading the signal in the enclosed gas pressure lower than those of conventional soft vacuum tube and is useful for the tube life. Further investigations on the target acceptance characteristics of the electron beam have shown that the sensitivity of the tube was improved considerably by the use of the electron beam having low velocity dispersion.

J. Inst. TV Engrs. of Japan, Vol. 36, No. 8 (1982) 733~741