モザイク式ターゲットのビジコン

東芝中央研究所 木 内 雄 二
高 橋 忠

従来使えなかった比較的低抵抗の光導電体をビジコンに使用するため、モザイク構造のターゲットを考え実験を行なった。この方式にすると画質にはまだ問題があるが、 $10^9 \Omega \text{cm}$ 程度の光導電体が使えることがわかった。

ビジコンのターゲット時定数は、信号電荷を1回の走査期間中たくわえておくため、1フレーム時間より長くなければならない。この条件はターゲットに使う光導電体が大体 $10^{12} \Omega \text{cm}$ 以上の暗抵抗でなければならないことに相当し、種々の光導電体をビジコンに使用する場合、案外問題になることが多い。

抵抗の低い光導電体をビジコンのターゲットに使う試みは、Weimer ら¹⁾が“Lateral-Flow” Target および Bridge Target という2種の形について可能性を論じている。しかし、いずれも構造がきわめて複雑で、実際に作ることはかなり困難のように思われる。

“Lateral-Flow” Target の場合には、ターゲット電流が光導電体の薄膜にそって流れるので、ターゲット抵抗は高くできるが、同時にターゲット容量も小さくなってしまふから、必ずしもターゲット時定数が大きくできるとはかぎらない。また Bridge Target の場合には、ブリッジの平衡さえとれば、信号は十分取り出しうるが、もし蓄積容量が不足していれば、雑音の多い信号しか得られないであろう。

これに対し、実際に製作可能であるということと、今

までビジコンには使えなかった抵抗の低い光導電体を使って撮像管を働かせてみるということに主眼をおいて、モザイク式のターゲットを考え、裏付けの実験を行なった。

1. モザイク式ターゲットの構造と動作原理

モザイク式ターゲットの構造の一例を第1図(a)に示す。普通のビジコンのようにフェース・プレートの上に透明電極をつけたものが基板になっている。その上に透明な絶縁物のモザイクが形成してあり、さらにその上に光導電体の薄膜が全面に被覆してある。

このターゲットの作り方は簡単で、透明電極をつけたフェース・プレートに細かいメッシュを重ねてマスクし、透明な絶縁物を蒸着すればモザイクができあがり、

第1図 各種のターゲットの構造

筆者紹介

きうち ゆうじ
木内 雄二 昭和25年、東京大学工学部
物理工学科卒業、東芝に入社し、中央研究
所電子管研究部勤務。撮像管、蓄積管等の
研究に従事。正会員

たか はし ただし
高橋 忠 昭和34年、東北大学工学部
通信工学科卒業、東芝、中央研究所電子管
研究部勤務。撮像管の研究に従事。37年より
1年間レンスレア工科大学に留学、修士
課程卒業。正会員

“Vidicon Type Camera Tube Using Mosaic Target” by Yuji Kiuchi
and Tadashi Takahashi (Central Research Laboratory, Tokyo Shi-
baura Electric Co., LTD., Kawasaki)

さらに光導電体をつければよい。そのほか適当なマスクと蒸着方法により第1図(b)(c)のようなターゲットも製作可能である。

第1図(a)のモザイク式ターゲットでは、一つの絶縁物のかたまりが一つの画素になっていて、絶縁物の上に信号電荷をたくわえることによって蓄積作用を行なう。ターゲット容量は絶縁物の厚さ、あるいは面積を変えることによって十分蓄積動作ができるまでに大きくすることができ、同時にターゲット電流は絶縁物の周囲から光導電体の薄膜を通して絶縁物上に流れ込むから、ターゲット抵抗を高くすることもできる。

透明電極と光導電体と直接接した網目状の部分は、ターゲットとして動作しない部分であって、この面積の部分だけ無効となる。普通、撮像管に使うメッシュの透過率は約50%であるから、これを使えば有効面積が大体半分になるはずであるが、実際に絶縁物を蒸着してみると、マスクの裏側への回り込みがあるので、有効面積をもっと大きくすることができる。

また絶縁物の吸収による光の損失も問題になるが、絶縁物が薄膜であるから、光の干渉によって必ずしも光の損失が起こるとはかぎらないことが実験からわかった。

以上の損失に対し、十分補いのつく感度のよい光導電体があれば、低抵抗であってもビジコンに使えるので、総合感度としてはむしろよくできる見込みがある。

2. ターゲット時定数

ビジコンが動作しているとき、ターゲットの1画素に注目すると、その表面電位 V は、電子ビームが当たっていない間、光電流および暗電流によって上昇し、電子ビームが当たると下降する。ここでは信号の蓄積を問題にしているから、第2図のような等価回路について、電子ビーム走査を意味するスイッチ S が開いているときの電位の時間的な変化を考えればよい。ターゲット電圧を V_T とすると、

$$V = (V_T - V_2) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right\} + V_2 \quad (1)$$

第2図 ビジコンの等価回路

第3図 ターゲット表面電位の上昇とターゲット時定数の関係

ただし、ビーム走査直後の時刻 t を 0 として表面電位を V_2 とし、ターゲット時定数を τ とした。なお、ここではターゲット抵抗をオーミックとしたが、実際のビジコンの場合のように、非オーミックであっても計算の本質は失われない²⁾。

ここではターゲットだけを問題にしているから、走査ビームはターゲットを十分充電できるものとすれば、 V_2 はカソード電位に近くなり、ほぼ 0V とみなしてよい。したがって 1 フレーム時間 T の間の電位変化 ΔV は、

$$\Delta V \cong V_T \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right) \right\} \quad (2)$$

第3図にはターゲット時定数を変数にとって電位上昇率が示してある。ビジコンの信号は図の曲線部分で出るわけである。

普通のビジコンのターゲット時定数 τ (sec) は次のような式で誘電率 ϵ と比抵抗 ρ (Ωcm) で結びつけられる。

$$\tau = 8.86 \times 10^{-14} \rho \cdot \epsilon \quad (3)$$

したがって、ビジコンのターゲット抵抗には制約があり $10^{11} \sim 10^{12} \Omega\text{cm}$ 程度の比抵抗が最も適当である。

3. モザイク式ターゲットの蓄積作用の近似解析

モザイク式ターゲットの動作の大体の見当をつけるため、普通のビジコンと同じ低速度動作の場合の近似解析を行なう。まず、光導電体と透明電極とが直接接している網目状の部分は光導電体の抵抗がビーム・インピーダンスより十分低く、常に透明電極と同電圧、つまりターゲット電圧 V_T に保たれていて、蓄積動作をするのは絶縁物上だけにかぎられているものとする。

また電子ビームの量は十分あって、1回の走査でカソード電位 0V まで充電できるものとする。

絶縁物は一辺 a なる正方形とし、第4図のように座標をとると、点 (x, y) における電荷密度 q は、

$$k \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (4)$$

で表わされ、ここに k は定数で cgs 単位を用いれば、

$$k = \frac{4\pi d_i d_p}{1.1 \times 10^{12} \rho_p \epsilon_i}$$

d_i と d_p はそれぞれ絶縁物および光導電体の厚さ、 ϵ_i は絶縁物の誘電率、 ρ_p は光導電体の比抵抗である。(補遺

第4図
モザイクの座標

参照)

(4)式の偏微分方程式を

$t=0$ (充電が完了) のとき

$$-\frac{a}{2} < x < \frac{a}{2}; -\frac{a}{2} < y < \frac{a}{2} \quad q = q_{\max}$$

$$-\frac{a}{2} > x, \frac{a}{2} < x; -\frac{a}{2} > y, \frac{a}{2} < y \quad q = 0$$

$$t = \infty \text{ のとき} \quad q = 0$$

なる境界条件, および初期条件で解けば,

$$q = q_{\max} \cdot \frac{16}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{m+n} \cdot \exp \left[-k \frac{\pi^2}{a^2} t \left\{ (2m+1)^2 + (2n+1)^2 \right\} \right] \times \frac{\cos \frac{(2m+1)\pi x}{a} \cos \frac{(2n+1)\pi y}{a}}{(2m+1)(2n+1)} \quad (5)$$

$q_{\max} = \frac{\varepsilon_i}{4\pi d_i} \cdot VT$ であることを考慮して1フレーム時間 T の間に1つの絶縁物の上にたくわえられる電荷の総計 Q_m^* は, (5)式を積分して

$$Q_m^* = \frac{a^2 \varepsilon_i VT}{4\pi d_i} \cdot \frac{64}{\pi^4} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \cdot \exp \left[-k \frac{\pi^2}{a^2} T \left\{ (2m+1)^2 + (2n+1)^2 \right\} \right] \quad (6)$$

ターゲット全面にたくわえられる電荷 Q_m は, 絶縁物の占める面積率を η_m とすれば,

第5図 3種のターゲットの蓄積電荷と比抵抗との関係(計算)

$$Q_m = \eta_m Q_{\max} \frac{64}{\pi^4} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \cdot \exp \left[-k \frac{\pi^2}{a^2} T \left\{ (2m+1)^2 + (2n+1)^2 \right\} \right] \quad (7)$$

ただし, $Q_{\max} = CV_T = \frac{\varepsilon_i AV_T}{4\pi d_i}$ であって, ターゲットにたくわえられる最大の電荷を意味している. A はターゲット面積である.

同様に第1図(b)のようなストリップ状ターゲットの場合には, 電荷 Q_s は,

$$Q_s = \eta_s Q_{\max} \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\exp \left[-k \frac{\pi^2}{a^2} + (2m+1)^2 \right]}{(2m+1)^2} \quad (8)$$

また, 普通のターゲットの場合には, (2)式から

$$Q_n = Q_{\max} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{T}{\tau} \right) \right\} \quad (9)$$

で表わされるが, この場合の $Q_{\max}$ は光導電体の誘電率を ε_p とすれば $\frac{\varepsilon_p AV_T}{4\pi d_p}$ となる.

以上計算した Q_m, Q_s, Q_n の $Q_{\max}$ に対する割合について, ρ_p を変数にとり,

$$\varepsilon_p = 10, \varepsilon_i = 10, d_p = 1\mu, d_i = 1\mu$$

$$a = 33\mu, T = \frac{1}{30} \text{ sec}, \eta_m = \eta_s = 1$$

の場合の曲線を第5図に示す. 図から普通のヒジコンよりモザイク式ターゲットの方が比抵抗でくらべ約2けた低くても動作しそうであり, ストリップ式ターゲットの場合には, さらに低抵抗でもよいことがわかる.

光導電体の暗抵抗を ρ_d , 光 I が当たったときの抵抗を ρ_p とし, 感度 S をつぎのように定義することにする.

$$\frac{1}{\rho_p} = \frac{1}{\rho_d} (1 + SI)$$

ただし, S は一定値とする.

平均電流は1フレームにたくわえられる電荷を1フレーム時間で割ればよいが, 信号分としては暗電流の分を差し引かなければならない. (10)式を使って, (7)式から信号電流 Δi_m を求めると,

$$\Delta i_m = \frac{\eta_m Q_{\max}}{T} \cdot \frac{64}{\pi^4} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \cdot \exp \left[-k_d \frac{\pi^2}{a^2} T \left\{ (2m+1)^2 + (2n+1)^2 \right\} \right] \times \left[1 - \exp \left[-k_d \frac{\pi^2}{a^2} T SI \left\{ (2m+1)^2 + (2n+1)^2 \right\} \right] \right] \quad (11)$$

同様にストリップ式ターゲットの場合には,

第6図 3種のターゲットの比抵抗をパラメータとした信号出力 (本文の数値参照)

$$\Delta i_s = \frac{\eta_s Q_{\max}}{T} \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\exp\left[-k \frac{\pi^2}{a^2} T (2m+1)^2\right]}{(2m+1)^2} \times \left[1 - \exp\left\{-k_d \frac{\pi^2}{a^2} T S I (2m+1)^2\right\}\right] \quad (12)$$

ただし, (11), (12) 式で

$$k_d = \frac{4\pi d_p d_i}{1.1 \times 10^{-12} \rho_d \epsilon_i} \quad (13)$$

また普通のターゲットでは,

$$\Delta i_n = \frac{Q_{\max}}{T} \exp\left(-\frac{T}{\tau_0}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{SIT}{\tau_0}\right)\right] \quad (14)$$

$$\tau_0 = 8.86 \times 10^{-14} \rho_d \cdot \epsilon_p \quad (15)$$

となる。さきに使った数値を入れ, 代表的な暗抵抗の値をパラメータにして曲線を描くと第6図のようになる。暗抵抗が $10^9 \Omega \text{cm}$ の場合, 普通のターゲットでは全く信号を取り出すことができないのに対し, モザイク式ターゲットでは, 出力信号は小さいが一応動作することがわかる。

横軸は光の強さ I と光導電体の感度 S との積であるが, S を一定値とみれば, 相対的な光の強さとみてよい。また, 感度のよいものは光量が少なくても動作することを示している。

4. モザイク式ターゲットの実験

透明絶縁物には蓄積管などでよく使われている弗化カルシウム(CaF_2)を使った。 CaF_2 は $10^{15} \Omega \text{cm}$ 以上の比抵抗をもっており, 紫外から 10μ 以上の赤外まで透明である。しかし真空蒸着する場合, 蒸発温度が高いので,

写真1 モザイク式ターゲットの顕微鏡写真

必ずしも使いやすい材料ではなく, もっとほかにより材料があると考えている。

モザイクを作るときのマスクには, 普通撮像管に使われている750メッシュの銅メッシュを使った。(11)式からもわかるように, メッシュの目の幅は直接このターゲットの蓄積作用に関係している。あるいはメッシュを使えば容量を増すことができるので, もっと低抵抗の光導電体を使うこともできるが, 当然のことながら解像度が悪くなるので限度がある。

写真1は実験に使ったモザイク式ターゲットの一部の顕微鏡写真である。 CaF_2 蒸着の際, マスクの裏側への回り込みのため, 透明電極の露出部はかなり細くでき, 場合によっては, 第1図(c)のような形にも作りうる。

光導電体には普通のビジコンに使われている三硫化アンチモン(Sb_2S_3)を使った。 Sb_2S_3 の真空蒸着膜は普通のビジコンでも使えないことはないが, 抵抗が $10^{10} \sim 10^{11} \Omega \text{cm}$ で少し低過ぎる。また, この膜を加熱処理すると2~3けた抵抗が下がることがわかっている。

一度ターゲットとしてビジコンの中に封じ込んでしまうと, 光導電体の比抵抗は測定できないので, 普通のビジコンのターゲットとモザイク式のターゲットとの相対的な比較のため, 1インチビジコンのフェースの半分に CaF_2 のモザイクを形成しておき, 全面に Sb_2S_3 を蒸着して, 適当な加熱処理を行なった実験管を試作してみた。こうすると, 普通のターゲットとモザイク式ターゲットを同じ条件で比較することができる。

試験の結果, 普通のターゲットの部分は, ビーム電流をいくら増してもターゲット電圧がかけられず, ほとんど画が出ないのに対し, モザイクの部分はターゲット電圧5Vぐらいいから画が出はじめて, 高い電圧までかけられることがわかった。(写真2)

このモザイク式ターゲットの動作は, 実際にははじめ考えたように簡単なものではなく, かなり複雑なようである。それは, 第1に光導電体と透明電極とが接した網目状の部分でも, 光導電作用によってある程度普通のビジコンに近い動作をして表面電位が変動すること。第2にこの網目状の部分とモザイク上の光導電体との間に Coplanar grid action があること。第3にそれぞれの部分で表面電位が違うので, 二次電子の出かたも異なり第1クロスオーバーポイントを越すか否かで動作が変わってくる。また第4には電子ビームの量が各部分によって, 適量のところと不足あるいは過剰のところとができるなどの多くの原因がからみ合っているものと考えられる。

モザイク式ターゲットを動作させると, 管によっては動作モードが4種類くらいあるものもあるが, 安定した画像の出るのは低速度ビーム動作と高速度ビーム動作と

(a) 低速度ビーム動作 ($V_T=10V$)

(b) 高速度ビーム動作 ($V_T=40V$)

写真 2 右半分だけモザイク構造のビジコンで撮像した画像

写真 3 低速度ビーム動作で撮像した画像
ターゲット電圧 10 V, 暗電流 0.05 μA , 光電流 0.15 μA

である。

低速度動作の場合には信号出力は割に大きいですが、シェーディングが出やすい。光導電体と透明電極の直接接した網目状の部分の電位が高く、実際に動作するモザイク上の光導電体の表面電位が低いので、電子ビームは網目状の部分に流入しやすい。したがって無効のビーム電流がたくさん必要となり、暗電流も多くなる。しかし、電子ビームをさらに増して、モザイクの表面電位を十分下げ

第 7 図 モザイク式ターゲットの光電変換特性の一例

カソード電位に平衡させると、coplanar grid action によって、かえって暗電流が減少する傾向がみとめられる。

ターゲット電圧が 30~40V を越すと高速度ビーム動作に移行する。この場合、低速度動作にくらべて信号出力が小さく、極性が反転(ターゲット電圧がフィールド・メッシュ G_4 電圧より低い場合)するが、シェーディングは目立たなくなる。しかし、信号出力が小さいので信号対雑音比は悪い。高速度動作の場合には二次電子放出の分布とターゲット電流とによって平衡電位が決定されるが、モザイク構造のため現象は複雑である。ビームの量によって平衡電位が変わるため、黒レベルを一定の値に設定することができない。

この方式のビジコンの解像度はモザイクの細かさで決められる。1 インチビジコンにした場合、750 メッシュのマスクを使ってモザイクを作ると、400 本前後で完全にパターンのはしは消える。

第 7 図はモザイク式ターゲットのビジコンの光電変換特性の一例と比較のため 7038 の特性とを示している。現在のところ、モザイクの状態や光導電体の熱処理の条件などが一定していないのでかなりのバラツキがある。低照度側では一般に 7038 よりむしろ感度がよいが、だんだん光を強くしていくと比較的低照度のところから飽和を起し、出力信号が大きくなる。これは第 3 図からもわかるとおり、ターゲット時定数の小さいビジコンの特徴を示している。また第 7 図の曲線からもわかるように γ 特性が非常にねているので階調はかなり平坦である。その一つの理由は第 5 図の曲線の傾斜のゆるいことによるものと考えられる。

残像は絶縁物の厚さに関係があって、まだ量的な測定は行っていないが、絶縁物の厚さが 2μ 以上ならば容量性の残像はほとんど目立たないが、ターゲット時定数を大きくするために $1/10\mu$ のオーダーの厚さにするとかなり長い残像がみとめられる。低いターゲット抵抗を容量で補なっているのであるから、原理的にいっても容量性の残像は大きくなる可能性はあるわけである。

モザイク式ターゲットの、電圧—電流特性の一例を

第8図 電圧-電流特性の一例

第8図に示す。この特性は光電変換特性とともにビーム電流によって変化する。暗電流の多いことはこのような構造ではやむをえないことであるが、モザイク式ターゲットの一つの欠点である。

モザイク式ターゲットにするとどの程度の比抵抗の光導電体が使えらるかを知るため Sb_2S_3 と Sb_2Se_3 とを混ぜて抵抗を下げた光導電体を使って管を試作した。抵抗値は同じ資料について数個のスリット形セルを作り、かなり再現性のある結果を得たので、その値を信用することにする。その結果では $10^8 \Omega \text{cm}$ では十分動作をしたが $10^7 \Omega \text{cm}$ では光に対する応答はあっても画像を形成しなかった。 $10^8 \Omega \text{cm}$ のオーダーでは確実な結果が得られていないが、かなり無理な動作になる。

5. む す び

モザイク式ターゲットにすると $10^8 \Omega \text{cm}$ の比抵抗の光導電体が1インチビジコンのターゲットとして使えることがわかった。画質についてはまだ問題があるが、改善の見込みはある。この方式のターゲットにすると、普通のビジコンにするには抵抗が低過ぎるが、可視光領域で感度がよい光導電体、たとえば CdS や CdSe などが使用できる可能性がある。また、赤外線領域に感度をもつ光導電体は一般に抵抗が低いが、この方式によって赤外線用ビジコンができる見込みもある。

終わりに、ご指導をうけた東芝中研の岡部部長、中山部長代理に感謝するとともに、ご協力下さった笠原幸一君はじめ多くの方々に厚くお礼申し上げる。

第9図 絶縁物モザイク上の電荷の流れ
(y 軸に垂直な面で切断)

補 遺 [(4)式の導き方]

第4図のような絶縁物のモザイク上の一点 (x, y) における光導電体の微小体積 $dx \cdot dy \cdot dp$ を考える。ただし dp は光導電体の厚さであって十分薄いものとする。

点 (x, y) における電位を u とすれば、 $dy \cdot dp$ なる微小面積をとって dt 時間の間に、この微小体積に x 方向に流れ込む電荷は (第9図)

$$-\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dy \cdot dp \cdot dt$$

ρ_p は光導電体の比抵抗である。また、今考えた面に相対している dx だけはない面から、 dt 時間の間に、 x 方向に出ていく電荷は

$$-\left\{ \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx \right\} dy \cdot dp \cdot dt$$

したがって微小体積に x 方向に、 dt 時間の間に流れ込む電荷は、

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx dy dp dt$$

同様に y 方向には

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx dy dp dt$$

ゆえに微小体積に流れ込む電荷の総計は

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} dx dy dp dt$$

ここで ρ_p を一定とみなせば

$$\frac{1}{\rho_p} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) dx dy dp dt$$

この電荷は絶縁物上の微小面積 $dx \cdot dy$ 上にたくわえられて電位変化が起こる。絶縁物の誘電率を ϵ_i 、厚さを d_i とすれば、cgs 単位系を使って、

$$\frac{1.1 \times 10^{12} \cdot \epsilon_i \cdot dx \cdot dy}{4\pi d_i} \frac{\partial u}{\partial t} dt$$

したがって

$$\frac{4\pi d_i d_p}{1.1 \times 10^{12} \cdot \epsilon_i \cdot \rho_p} \equiv k \quad \text{とすれば、}$$

$$k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial u}{\partial t}$$

電荷密度 q は、 $q = ku + \text{const.}$

であって、この場合には k は x, y, t に関して無関係な定数であるから

$$k \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial q}{\partial t}$$

(昭和 38 年 10 月 13 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) S. A. Ochs and P. K. Weimer: Some New Structure-Type Targets for the Vidicon—An Analysis of their Operation, RCA Rev., Vol. XIX, (Mar. 1958) 49~61,
- 2) 木内雄二: ビジコンのターゲット抵抗について、テレビ用電子管研究委員会資料 190 号, (昭 38-2)