

ビデオカメラ用「サチコン」[®]の最近の高性能化

Recent Improvements in "SATICON"[®] for Single-tube Color Video Cameras

最近、カラービデオカメラの普及は目覚ましく、その用途も多種多様で、それぞれの用途に応じた画質、機能の改良が行なわれている。このような市場動向に対し、日立製作所は単管カラーカメラ用サチコン[®]の高解像度化を指向して、業務用分野にまで市場を拡大する一方、小形・軽量で機動性を要求される民生用分野には、小形管を製品化して対処した。撮像管を小形化すれば、受光面積が小さくなり、光電信号量が減少するので光導電膜の感度を高くする必要がある。

サチコン光導電膜の高感度化は、膜内増感層の厚さを増すことによる光吸収率向上と、膜内電界強化による励起効率向上によって行ない、従来管比約40%光電感度を向上させた小形高感度単管カラーカメラ用サチコンを開発し、製品化した。

雲内高明* Takaaki Unnai
 信時三郎* Saburō Nobutoki
 酒井英之* Hideyuki Sakai
 高寄幸男** Yukio Takasaki
 平井忠明** Tadaaki Hirai

1 緒言

単管式カラーテレビジョンカメラが発売されてから十数年が経過したが、家庭用VTR(ビデオテープレコーダ)の登場以来、質的にも量的にも非常に成長し、昭和59年度全国生産は百数十万台を超えると推定され、我が国の製品がほとんど全世界の市場を占めている。一口に単管式カラーテレビジョンカメラと言われるなかには、普及形カメラからプロフェッショナルカメラに至る多様な機種構成があり、それは主として、単管式カメラの基本部品である単管式カラーテレビジョンカメラ用色分解フィルタ内蔵(以下、単管カメラ用と略す。)撮像管の性能で決定される要素が多い。

日立製作所では単管カメラ用撮像管を昭和48年に発売したが、昭和53年以降は、放送用撮像管として日本放送協会放送技術研究所との長年の協同研究により開発^{1)~3)}されたサチコン[®]の光導電膜を適用して、高品質の単管カメラ用サチコンを生産してきた。サチコン光導電膜(以下、サチコン膜と略す。)の特長は、高い解像力、安定した画像、速い応答性によるぼけのない動体撮像などである。本稿では、最近の市場ニーズに立脚した新製品の動向、それをサポートする新しい技術のうち、主に高感度サチコン膜について述べる。

2 単管カメラ用サチコンの概要

2.1 サチコン膜の特長

放送局テレビジョンカメラ用として開発されたサチコンは、Se-As-Te系カルコゲナイド非晶質半導体を光導電体とし、それを信号捕集用電極である透明導電膜上に、前者がp形、後者がn形のヘテロ接合を作るように、真空蒸着により形成³⁾されており、次のような特長をもっている。

- (1) 非晶質で粒状性のない膜であるため、解像性が高い。
微結晶質から成る光導電膜を用いた撮像管と比較して、サチコン膜は均質な非晶質から成っているため、粒界に基づく光学的、電気的粒状性雑音がないため、解像力が高い。このことは将来の高品位テレビジョン用撮像管としても期待されている。
- (2) 暗電流が小さく、温度、運転時間などによる変化も極めて小さいので、安定した撮像ができる。
- (3) 光導電膜の応答特性が速いので、残像や画像の焼付など

の現象が少なく、動きのある被写体の撮像時にも解像度の高い映像が得られる。

(4) 光導電膜の分光感度特性が視感度に良く合致しており、補正不要で、バランスの良い色再現性が得られる。

単管カメラでは1本の撮像管から、赤、緑、青すべてのチャンネルの信号を取り出すので、各チャンネル信号のバランスがカメラのS/N(信号対雑音比)、色再現性、にせ信号抑制などのために必要である。サチコン膜はこの見地から、光学的トリミングフィルタを使用しなくても、視感度に良く合った分光感度分布をもっているため、色信号バランス、色再現性の良い映像が得られる。

2.2 撮像方式

単管式カラーテレビジョン撮像には多くの回路方式があり、それぞれ独自の構造の撮像管が必要である。日立製作所では図1に示す単一色搬送波周波数インタリーブ分離方式の撮像管を主に生産しており、世界的にもこの方式が最も広く使用されているので、本稿ではこの方式の撮像管について述べる。

周波数分離方式では、輝度信号と二つの色信号が周波数多重化した形で撮像管の一つの信号端子から得られるので、輝度信号解像度の原理的制約はあるが、比較的簡単な構造の撮像管である。色信号は高周波変調されて得られるので、色信号を読み出すためには、電子ビームを細く、かつ全画面にわたって収差なく収束結像させないと色均一性を損なうことになるために、電子ビーム設計が重要な要素となる。撮像管から得られる信号は、低周波域の輝度信号と水平走査ごとに進相する高周波に乗った一つの色信号と、遅相する同じ周波数の高周波に乗ったもう一つの色信号が混合されたもので、カメラ回路によって輝度、赤及び青チャンネル信号に分離される。この方式ではテレビジョン放送方式、すなわち走査線の本数により、ストライプフィルタピッチ、交差角度の異なる色分解フィルタが必要で、国内及び米国など市場向けのNTSC(National Television System Committee color system)テレビジョン方式用のものと、欧州圏向けのPAL(Phase Alternation by Line color TV system)/SECAM(Séquentiel À Mémoire color TV system)方式用の2種類の撮像管が用意されている。

* 日立製作所茂原工場 ** 日立製作所中央研究所

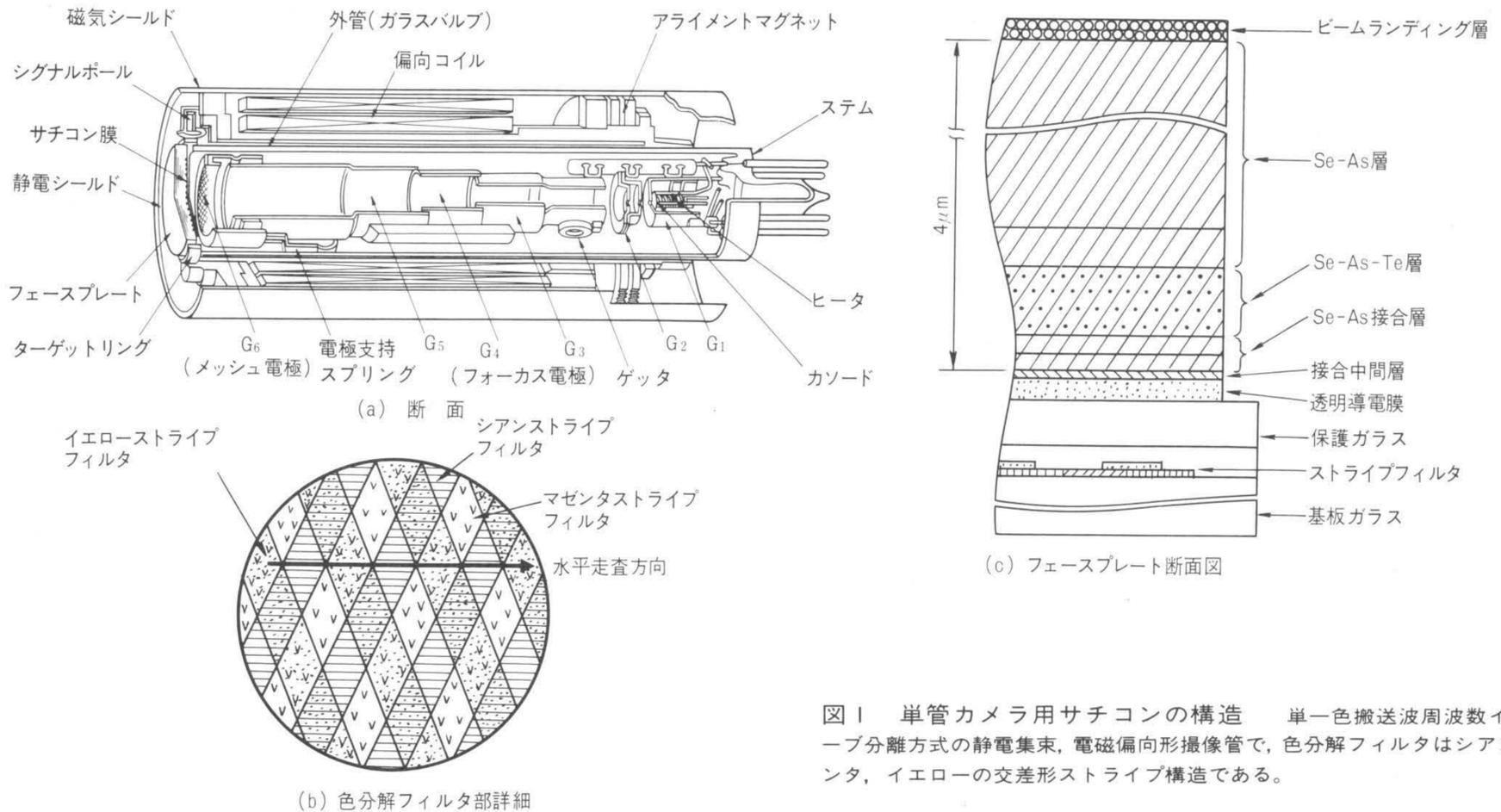


図1 単管カメラ用サチコンの構造 単一色搬送波周波数インターリーブ分離方式の静電集束、電磁偏向形撮像管で、色分解フィルタはシアン、マゼンタ、イエローの交差形ストライプ構造である。

3 単管カメラ用サチコンの新製品展開

色分解フィルタの微細化技術と電子ビームの高精度集束技術、サチコン膜の高感度化などの技術に支えられた一つの指向は小形・軽量製品であり、もう一つは、これらの技術を画質向上に結びつけた高解像形製品である。管球サイズと解像力の進歩、変遷の状況を図2に示す。

3.1 撮像管の小形化

単管カメラ用撮像管が登場した当初は25ミリ管が使用されていたが、管径の小形化が進み、現在では13ミリ管を主流とし、高解像度管として18ミリ管、超小形カメラ用として11ミリ管が使われている。撮像画面を小さくすることにより、管容積の縮減だけでなく撮像用レンズも同時に小形化できるので、カメラ小形化への効果は大きい。もう一つの小形化は長

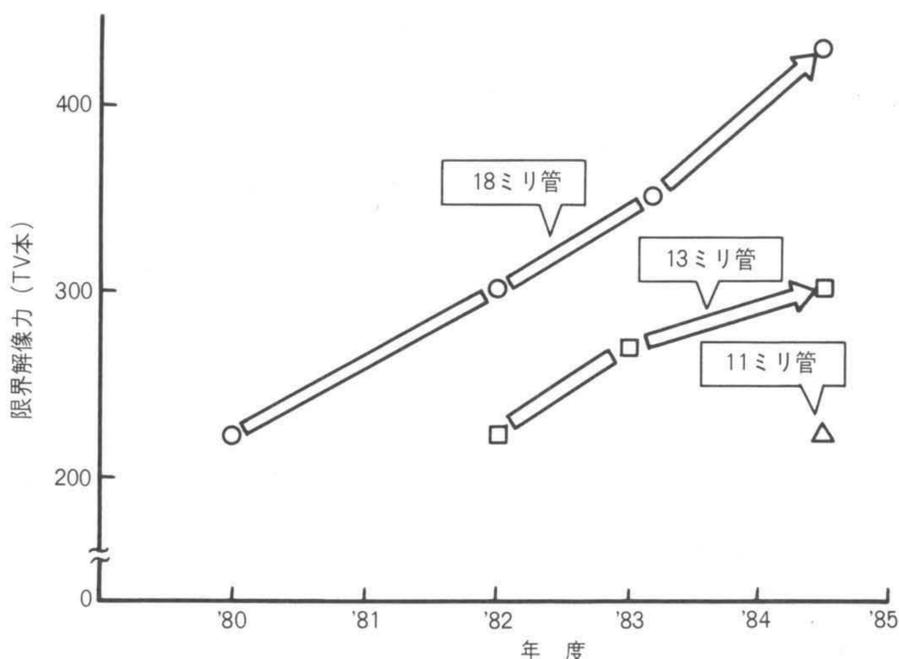


図2 単管カメラ用サチコンの高解像度化推移 管球サイズと解像力の進歩、変遷の状況を示す。18ミリ管では解像力430TV本、13ミリ管では300TV本まで高めた単管カメラ用サチコンを製品化している。

さの短縮である。一般に、管球の長さは管径にほぼ比例して縮小されるが、新しく開発したH4183系の13ミリ管では、短縮形電子銃を開発採用して、カメラの小形化に寄与している。撮像面を小さくすれば受光量が減少し、原理的に感度は低下するので、光導電膜自体の感度を高くすることが必要であり、小形管には後述の新しく開発した高感度サチコン膜を採用している。

3.2 高解像管

単管カメラでは、色搬送波周波数を高くすれば解像度を高めることができるが、色分解ストライプフィルタは細かくなり、その像を読み出すために電子ビームを細かくしなければならぬので、ストライプフィルタや電子銃設計⁴⁾については本質的には撮像管の小形化と同じ技術を背景としている。

図2に示すように解像度の向上を図り、家庭用高級機種カメラ用だけでなく、改良された色分解フィルタ⁴⁾による忠実度の高い色再現性と、三管式カメラに比べれば小形・安価なカメラが作れることから、プロフェッショナル用途の単管カメラ用にも使われるようになってきている。

4 高感度単管カメラ用サチコン

小形化のために、従来カメラに比べて感度が不足気味になることは否定できず、また、カメラの使用条件が多様となってきて、暗い照明下で撮像する場合が出てくる。これに対処するため、従来は20 lx程度が最低必要照明量であったものを15 lx程度にまで下げること、すなわちサチコン膜感度を約35%上昇させることを目標に改良を行なった。

感度向上を図るには、(1)サチコン膜内の電界強化、(2)サチコン膜内の増感層厚、増感材濃度の増大、などが有効な手段である。詳論に入る前に、サチコン膜の一般的構造と特性について述べる。

4.1 サチコン膜の一般的構造と特性

図1の膜断面構造にみるように、サチコン膜はSe, As, Teを主成分とし、透明導電膜上に中間層を介して膜厚方向に組成が異なる幾つかの光導電層を連続形成したもので、透明導

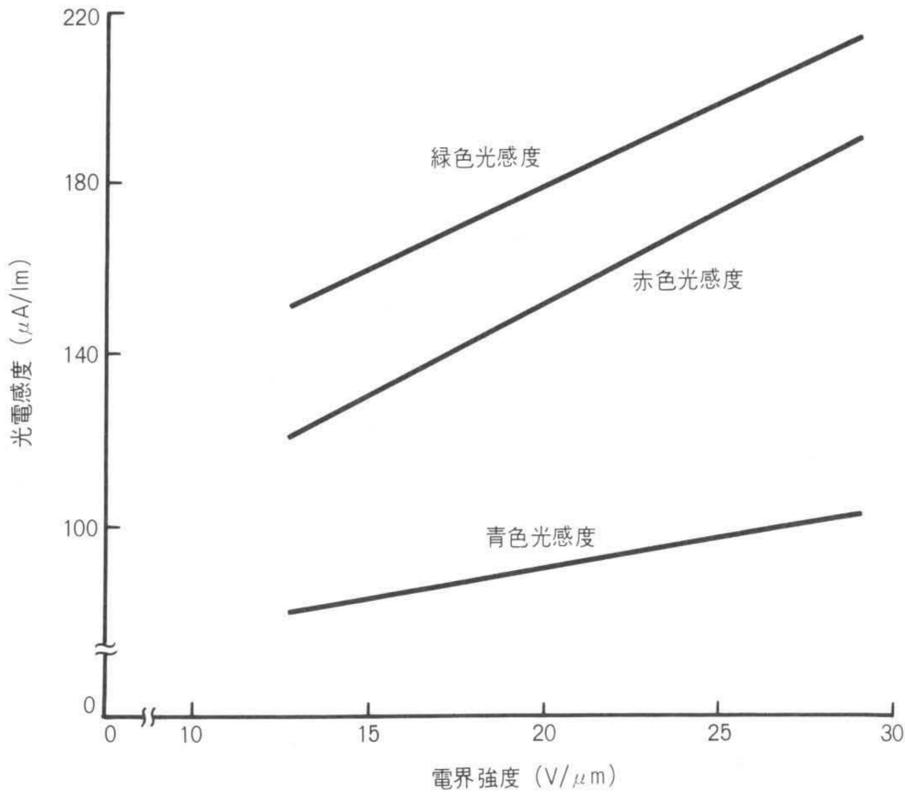


図3 非晶質Se-As-Te系撮像管の電界強度と光電感度 電界強度の増加によって、赤、緑、青共に光電感度が上昇する。

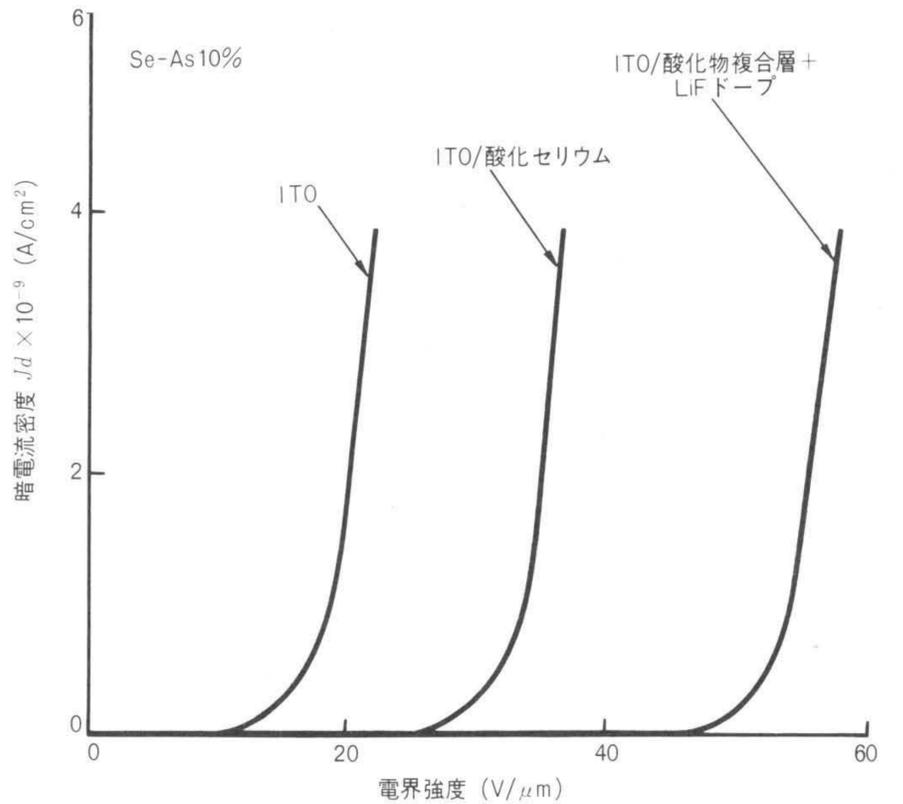
電膜との間にヘテロ接合を作っている。透明導電膜には正電位が与えられ、一方、膜のビーム走査側は走査直後にはほぼ陰極電位に保たれるため、サチコン膜には強い電界がかかっている。従来サチコン膜では平均12.5V/μmで動作している。Te含有層は、Seだけでは長波長光の吸収が不足するので、光吸収域をカラーテレビジョン撮像に必要な波長域まで拡張する効果を持ち、この領域で主に光電変換が行なわれる。サチコン膜の厚さ(光導電膜の電気容量)と電子ビーム抵抗が撮像管の時定数を決めており、これが光電信号の遅延特性(残像)を決定しているため、膜厚は走査面積が小さいほど薄くできる。従来、18ミリ管では4~6μm、13ミリ管では4μmに設計されている。

4.2 膜内電界強度増加による光感度の向上

透明導電膜への印加電圧を変えることによって、膜内電界を増加させると、図3に示すように光感度が増大する。この効果による高感度化を行なうには、強い電界に耐える強いヘテロ接合が必要となる。従来、接合部は酸化セリウム層³⁾が置かれているがこれでは耐電圧が低く、暗電流増大を招くので強化の必要があり、後述する複合酸化物層に置き換えることで、動作電界を約1.6倍とすることができ、高感度化に寄与できる。この目的でただ単にターゲット電圧を高くすると、電子ビームの光導電膜へのランディング特性劣化を招き過大光量部の信号反転や、にせ信号発生の原因となるので、膜厚を小として電界強化を行なうことが必要である。膜厚は小形管としての残像特性を考えて、13ミリ管が従来の18ミリ管相当の特性が得られるよう2μmとし、40Vで駆動させることにした。

4.3 阻止構造の強化

ヘテロ接合を強化しキャリア注入を阻止するには、前述した酸化セリウムを酸化ゲルマニウムとの複合積層構造とすることが極めて有効であり、更に接合部近傍の強電界発生を防ぐ構造を求めた。接合部近傍でSeにAsを添加するのは、Seのガラス転位点を高くして、光導電膜の結晶化を防止するものであるが、Asの添加により形成される局在準位に電子が捕獲され、そのために界面部電界が強くなって、透明導電膜からの正孔注入が増加していると考えられる。この現象を相殺す



注:略語説明 ITO(Indium Tin Oxide)

図4 Se-As阻止構造の逆方向電流-電圧特性 接合中間層を複合酸化物とし、更に阻止部近傍にLiFをドープすることにより、強い阻止構造とすることができる。

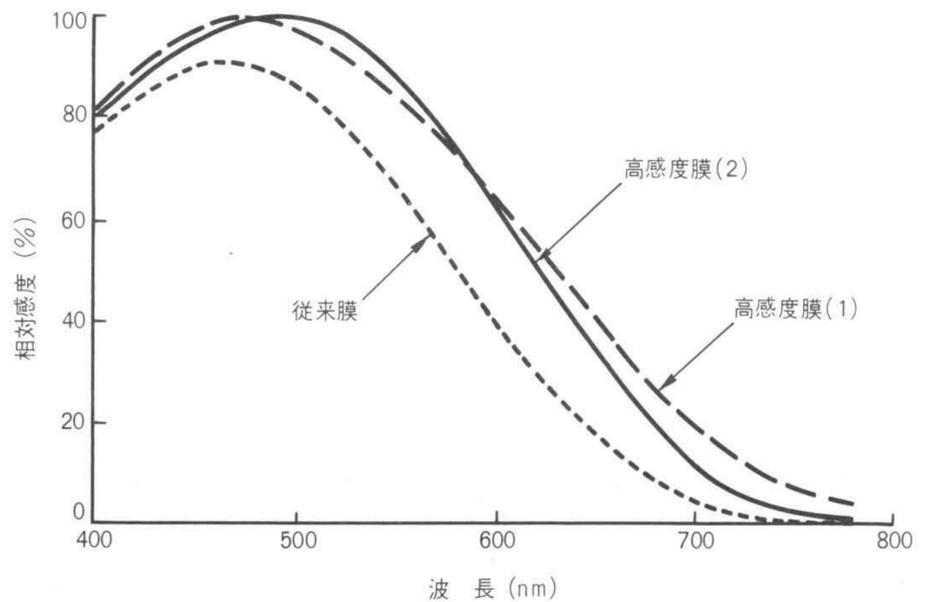


図5 単管カメラ用サチコン膜の分光感度特性 増感層中のTe濃度が増加した場合、図中(1)のように赤外域感度も増大する。濃度一定で増感層膜厚を増加させると、(2)に示した特性となり、赤外域感度は抑制される。単管カメラ用には、赤外域感度は色再現性を損なうので(2)を適用した。

るため、逆に正孔の捕獲準位を作るような物質をドープすることを考えると、Li, CuなどのI族元素やそのハロゲン化合物が有効である⁵⁾。日立製作所は接合中間層を複合酸化物層とした上で、接合部近傍に数パーセントのLiFをドープすることによって、図4に示すような阻止特性強化効果を得た。

4.4 Te増感層改良による光感度の向上

増感層中のTe濃度を増加させると、バンドギャップが狭くなり、図5中の(1)に示すように、分光特性は長波長側に広がりながら感度が上昇する。また、濃度を所定値に保ちながら増感層の膜厚を増加させると光の捕そく効率が良くなり、同図中の(2)に示すように、長波長側の広がりが抑制されて感度が上昇する。単管カメラ用撮像管では、同図(1)に示す特性の場合、赤外域に感光性をもつようになるため、色再現性を良

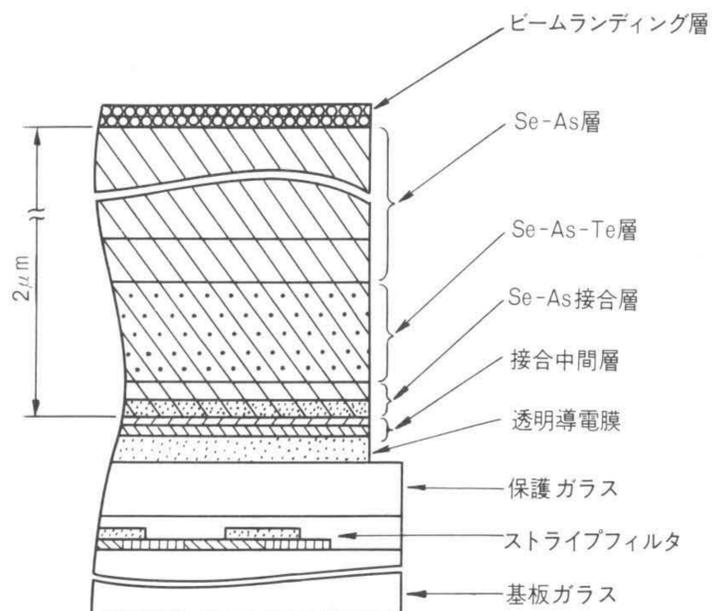


図6 高感度サチコン膜の断面構造 図1の構造に比べて(1)接合中間層を二重構造とし耐圧を強くしていること、(2)膜厚を薄くして電界を強くしたこと、(3)増感層(Se-As-Te層)を約30%厚くしたこと、により感度を高くできた。

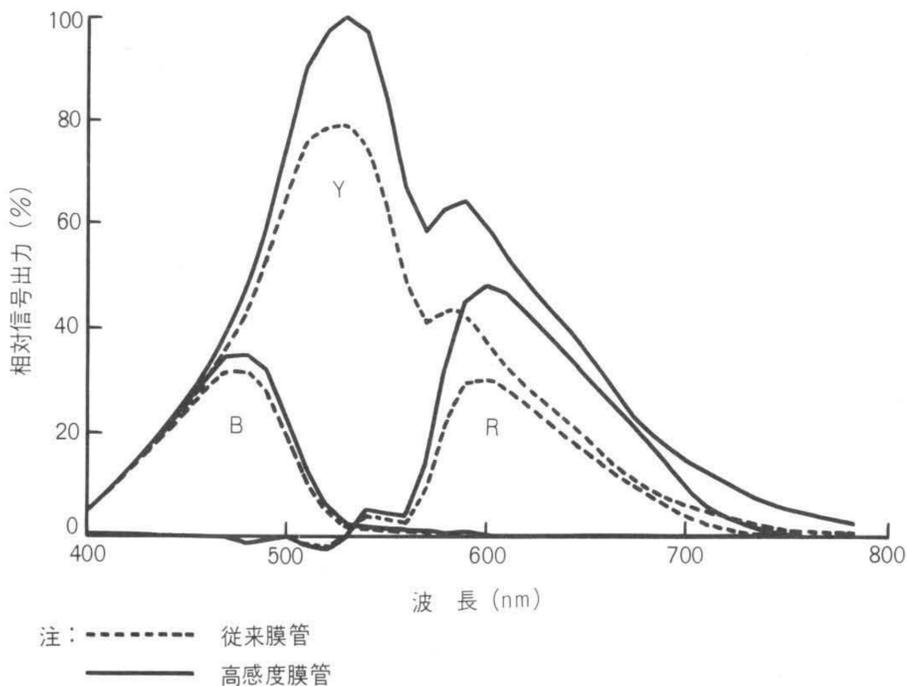


図7 単管式サチコンカメラのY,R,B分光出力分布 高感度膜管は従来膜管と比較して、輝度感度が40%向上する。

くするにはトリミングフィルタによる補正が必要となる。トリミングフィルタの採用はカメラ設計上不利となるので、同図中(2)の特性をもつ方法によって高感度化を行なった。

4.5 特性

上に述べた諸点の改良を行なった結果、図6に示す膜構造に決定し、ターゲット電圧40Vで動作させることにより、約40%の感度上昇を得た。図7に示すように、高感度膜管は従来膜管と比べると各チャンネルの出力、特に赤チャンネル出力が増大しており、赤チャンネルのS/Nを約5dB改善している。また、赤外域の感度を抑制した膜構造にしたため、忠実度の高い色再現性が得られている。

表1に、高感度単管カメラ用サチコンの主要な新品种の仕様と性能を、従来の当社製品と比較して示した。

表1 単管カメラ用サチコンの仕様及び性能 高感度単管カメラ用サチコンの主要な新品种を、従来の日立製品と比較して示す。小形化、高解像度化及び高感度化を図り、小形・高性能製品を開発した。

球種	11ミリ高感度管	13ミリ高感度管	13ミリ従来感度管	備考
品名	H4130	H4183	H4165	—
適合方式	—	NTSC	NTSC	—
色分離方式	—	単一色搬送波周波数インターリーブ分離方式		—
管径/全長(最大)	(mm) 11.5/75	13.5/85	13.5/95	—
管重量/コイル付重量	(g) 約8/25	約11/40	約13/50	—
集束・偏向方式	—	静電・電磁	静電・電磁	—
キャリア周波数	(MHz) 3.58	4.3	3.9	—
ストライプ幅	(μm) 11.7	12.3	13.8	—
交差角	(度) 23.1	19.5	21.4	対垂線方向
ヒータ電圧/電流	(V/mA) 3.0/112	3.0/112	3.0/112	—
ターゲット電圧	(V) 40	40	50	—
G3・G6/G5電圧	(V) 1,400/700	1,400/700	1,400/700	—
ビーム電流	(nA) 260	450	450	—
信号電流	(nA) 130	180	180	—
解像度	(TV本) 240	300	270	—
感度	(nAdc) 60	100	70	光電面照度10lx
残像	(%) 2.0	2.5	1.5	50ms バイアス光信号10nA
暗電流	(nAdc) 0.3Max.	0.3Max.	0.3Max.	指定のターゲット電圧
出力静電容量	(pF) 1.5	1.8	1.8	—

5 結 言

カラービデオカメラ市場からの小形化、高感度化、高解像度化の要求に対処して、サチコン膜の高感度化を図り、従来比感度約1.4倍の高感度サチコン膜を開発した。これを13ミリ管、超小形11ミリ管に適用し、小形・高性能単管サチコンH4183系及びH4130系品種を開発した。H4183系は管長短縮化を行なう一方、限界解像力を300TV本と高めた。また18ミリ管では限界解像力350TV本のH4170系、更に業務用分野にまで適用可能な限界解像力430TV本のH4190系高解像度化製品を開発した。

終わりに、本研究に当たり、御討論、御助言をいただいた日本放送協会放送技術研究所の後藤主任研究員、及び同研究所映像デバイス研究部の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) N. Goto, et al.: SATICON: A New Photoconductive Camera Tube with Se-As-Te Target, IEEE Trans. Electron Devices EC-21 662~666(Nov. 1974)
- 2) E. Maruyama, et al.: Graded-Composition Chalcogenide-Glass Photodiode, J. Jpn. Soc. Appl. Phys. 44 97~102 (1975)
- 3) E. Maruyama: Amorphous Built-in-Field Effect Photoreceptors, Jpn. J. Appl. Phys. 21 213~223(Feb. 1982)
- 4) 酒井, 外: 18mm高解像度単管カラーカメラ用サチコンの開発, TV学会技術報告, ED-767, 37~42(昭59-1)
- 5) 高寄, 外: 不純物ドーピングした非晶質Seにおけるキャリア輸送特性, TV学会技術報告, ED785 31~36(昭59-5)