

最近の技術から

スーパー HARP 撮像管と微弱光テレビ撮像への応用

倉重光宏

NHK 放送技術研究所イメージデバイス研究部 T157 東京都世田谷区砧 1-10-11

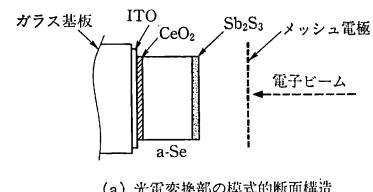
1. まえがき

ハイビジョンの開発に際して、従来に比べて格段に高感度で高精細な撮像デバイスの開発が重要な課題となり、われわれはそれまでの撮像管開発の長い経験をもとに非晶質セレンを母材とした光導電膜におけるなだれ増倍の可能性に挑戦した。非晶質セレンが経験を積んだ材料であったこと、後でわかったことであるが撮像管のなだれ増倍に本質的に適していたことなどが幸いして、ハイビジョンにも適合できる革命的な高感度撮像管HARPの開発に成功した¹⁾。その後、開発の進展とともになだれ増倍利得を順次高めることにも成功し、実験的には1,000倍近くまでの増倍利得を確認している²⁾。本稿では増倍利得が50~100倍のスーパーHARPと呼ばれる実用化段階の最高性能のものを紹介し、併せて微弱光テレビ撮像への典型的な応用を紹介する。

2. スーパーHARP撮像管

2.1 撮像管光電変換部の条件

一般に撮像管は光学像を電荷像に変える光電変換部と変換された電荷像を外部に電気信号として取り出す走査電子ビーム部とからなる。光電変換部は図1(a)に示すように光電変換膜(a-Se)の両端にそれぞれ透明電極(ITO)、および電子ビーム着陸層(Sb₂S₃)を設けた構造から成る。光電変換部は光電変換に加え、変換された電荷像の蓄積および走査電子ビームによる効率的な読み出し機能を同時に満たす必要がある。このため、①十分な光吸収特性、②キャリアの移動度と寿命時間の積が動画撮像へ対応できるよう十分大きいこと、③走査側での蓄積キャリアは電子ビームと反対の電荷、すなわち正孔でなければならないこと、④十分な解像度確保のため、キャリアの広がりが少ないとこと(電気抵抗ができるだけ大きいこと)、⑤信号電荷の蓄積に必要な適度な静電容量の形成、⑥電子ビーム着陸層における低速度着陸の確保(2次電子放出比が高電位まで1以下であること)、⑦不要な暗電流が極力小さいこと(禁止帯幅が小さすぎない



(a) 光電変換部の模式的断面構造

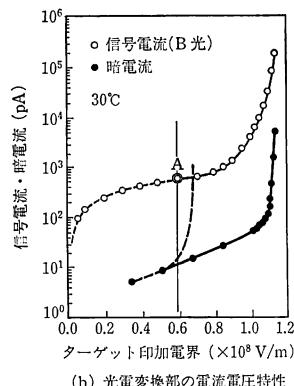


図1 スーパーHARPの基本構造と特性

こと)、⑧焼き付きなどをもたらすキャリアのトラップがないこと……などの条件をすべて満足しなければならない。

われわれは30年前から非晶質セレンに着眼し、上記の条件を満たす成膜技術のノウハウを多々培い、また、阻止型構造と称して透明電極側では正孔、電子ビーム着陸層側では電子の光電変換膜内への注入を阻止する光電変換膜構造も確立して、1973年にサチコンの開発に成功した³⁾。これらの技術の確立によって、ハイビジョン用を含め、放送局レベルの高画質な撮像管を生み出すことができた。反面、阻止型構造に起因して量子効率1の壁を越えることができず、したがって抜本的なブレークスルーがない限り、さらなる高感度化を達成することは困難と思われた。

2.2 スーパーHARP撮像管

図1(a)に示した阻止型構造の非晶質セレンからなる光電変換膜に、一定の光量を入射させた条件で電圧電流

特性を求めるとき、図(b)の特性が得られる。開発当初は破線部の端点Aを越えると信号電流がマスクされるほどに暗電流が極端に増大した。幸い、非晶質セレンに対する阻止型接触の巧みな改善が功を奏し、同図に実線で示したように暗電流を十分抑え込んだ条件で、安定ななだれ増倍が得られるようになった。非晶質セレンは可視光域で高い光吸収率をもつこと、正孔の移動度が大きく、電子よりも2桁高いこと ($0.2 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)、正孔と電子のイオン化係数の比が約90にも達する等、正孔の低雜音なだれ増倍にはもってこいの本質的な長所が備わっていた。

さらに、なだれ増倍領域での増倍率の電圧依存性が極めて急峻なことが幸いして、蓄積電荷がもたらす膜内電界の低下が増倍率を低下させる一種の負帰還作用を生じさせ、過剰雜音係数が1以下になる頗ってもない長所も見いだされた⁴⁾。すなわち、無雜音もしくは雜音軽減効果を伴うキャリアの増倍が見いだされた。また、非晶質セレンは超高抵抗材料なので期待した以上に超低暗電流(外部光電効果による光電面には及ばないが、数秒間の蓄積でも数nA以下)であることも徐々にわかつってきた。

一方、阻止型接触形成技術の進歩に符合して、膜厚をより厚くできるようになり、増倍利得が膜厚に対して比例的に増大させ得ることも確かめられた⁵⁾。

分光感度は半導体の吸収端(2.0 eV, 620 nm)で決まるが、禁止帯幅の小さいTe(0.3 eV)の添加などによる赤色増感技術も確立された⁶⁾。HARPは青色域を中心に光電変換効率が高く、かつ増倍による付加雜音が極めて小さいことが高画質化の主要な背景をなしている。

3. 微弱光テレビ撮像への応用

スーパーHARPは従来のサチコン(2,000 lux, F4)に比べて80倍高感度(3 lux, F1.4)であり、光のショット雜音が問題になる領域まで高画質なテレビ撮像を可能にした。極限的な感度(画質に言及せず写るか写らないかの限界)は光電面系撮像素子に一步及ばないが、映像信号增幅器の付加や走査電子ビームの間欠走査による蓄積時間の延長を行えばハイビジョン対応も含めてさらに数百倍の増感が可能もあり、人間の視覚を越える暗黒の世界まで十分撮像可能となる⁷⁾。

図2は口径100インチの望遠鏡と組み合わせて撮像したオリオン大星雲の画像、図3は放送衛星BS-3a, 3b(12~15等星相当)を汎用の740 mmのテレビ用望遠レンズで間欠増感により捕らえた映像である。

スーパーHARPは天体のみならず青色感度に優れないので、水中カメラとしても抜群の透視力を発揮するは

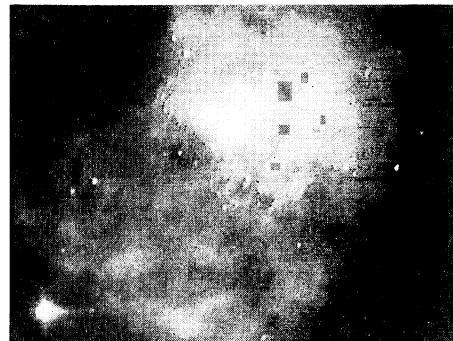


図2 “オリオン大星雲”
(100インチ望遠鏡, $f=6250\text{ mm}$)



図3 “放送衛星 BS-3a, 3b”
(740 mm, F 4.1, 間欠時間4秒)

か、窓材料を選択すれば紫外線やX線などの不可視光撮像にも威力を発揮する。

今後、さらに高画質な極限撮像に挑戦していくと同時に、固体化の可能性にも挑む予定である。終わりに貴重な資料を提供いただいた諸氏に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) K. Tanioka, et al.: "An avalanche-mode amorphous photoconductive layer for use as camera tube target," IEEE, EDL-8 (1987) 392-394.
- 2) 辻和隆, ほか: “超高感度アバランシェ増倍型撮像管”, テレビ学技法, 15, 52 (1991) 7-12.
- 3) 後藤直宏, ほか: “新光導電型撮像管サチコンの特性”, 1973テレビ全大, 3-23 (1973).
- 4) 竹歳和久, ほか: “非晶質セレンを用いたアバランシェターゲットの雜音軽減機構の考察”, テレビ学技報, 13, 64 (1989) 13-20.
- 5) 山崎順一, ほか: “超高感度Super-HARP撮像管”, テレビ誌, 46 (1992) 1189-1198.
- 6) 谷岡健吉, ほか: “赤色増感型非晶質Seアバランシェ光導電ターゲット”, 1988テレビ全大, 2-7 (1988).
- 7) J. Yamazaki, et al.: "Development of the super-HARP camera, a rival to the human eye for the next generation of broadcasting," SMPTE J., 101 (1992) 322-324.