

氏 名	谷 岡 健 吉
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )
学位授与年月日	平成 6 年 2 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 高知県立高知工業高等学校電気科卒業
学 位 論 文 題 目	増幅機能を有する撮像管用光導電ターゲットの研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 小野 昭一 東北大学教授 水野 皓司 東北大学教授 内田 龍男 東北大学助教授 横尾 邦義

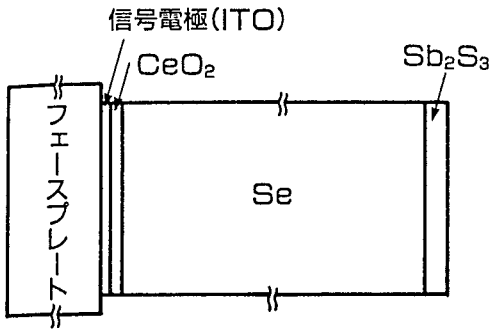
## 論 文 内 容 要 旨

本研究は、テレビジョンカメラの感度不足の問題解決を目的とした光導電型撮像管の大幅な高感度化に関するものである。筆者はこの研究において、強電界動作における阻止型構造のアモルファスセレン (a-Se) 光導電ターゲットが、アバランシェ増倍作用により、画質劣化を伴うことなく極めて高い感度を示すことを見だし、これを基に、従来の約10倍の感度を有する HARP (High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor) 撮像管と呼ぶ内部増幅型の高感度・高画質撮像管を世界で初めて実現した。

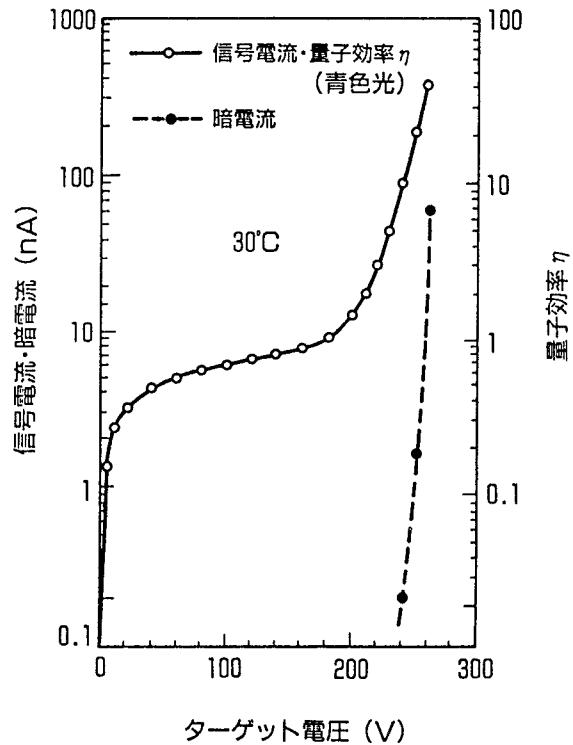
本研究では、まず、注入型と阻止型に分類される従来の撮像管用光導電ターゲットの各々について、大幅な高感度化の可能性と、高画質撮像管への適用性についての検討を行った。しかし、従来型のターゲットでは、画質を損なうことなく量子効率  $\eta$  (単位入射光子数当たりの出食電子数) 1 を上回る高い感度を達成することは困難であるとの結論に至った。

このため、新たに光導電ターゲットの材料、構造、動作方法等について種々の検討、実験を行った。その一つとして、図1に構造を示す極めて良好な電荷注入阻止特性(高耐圧特性)を有する膜厚  $2\ \mu\text{m}$  の a-Se 光導電ターゲットを試作し、これを  $2/3$  インチ電磁集束・電磁偏向型の電子銃と組み合わせて、従来の撮像管ターゲットでは暗電流の激増等のために試みることができなかった非常に強い電界領域での特性を調べた。その結果、この実験管では2図の電圧-電流特性に示すように、ターゲット電圧180Vで $\eta$ が1を超え、240Vでは $\eta=10$ 、また260Vでは $\eta=40$ となる極めて高い感度を生じることを見いだした。

この $\eta$ が1を超す感度増加現象については、従来の光導電ターゲットの動作理論に基づけば、阻止型ターゲットが非常に強い電界のためその阻止特性を維持できず、注入型ターゲットとして動作



1図 試作ターゲットの構造



2図 電圧-電流特性

したためとの解釈が成り立つ。しかし、この解釈では、 $\eta=10$ の高感度動作状態でも暗電流が0.2 nAと極めて小さいことや、後述する残像特性が良好なことを十分に説明できない。このため、実効ターゲット蓄積容量の電圧依存性の測定等、感度増加現象の動作機構を解明するための実験や分析を行った。その結果、このターゲットおよび感度増加現象には以下のような特徴のあることが明らかになった。

- 実効ターゲット蓄積容量は、動作電界に関わりなく常に一定で、ターゲットの比誘電率、走査面積、膜厚で決まる値に等しい。
- 走行キャリアが正孔と電子の場合では感度増加の特性が異なり、正孔走行の方が感度増加が大きい。
- ターゲット膜厚が異なる場合、同一電界における感度は、ターゲット膜厚が厚くなるにしたがって高くなる。

これらのことから、上記の a-Se 光導電ターゲットの  $\eta$  が 1 を上回る感度増加現象は、従来、光導電ターゲット高感度化の唯一の手法として知られていた外部電極からの電化注入に起因したものではなく、ターゲット内でのアバランシェ増倍作用によるものであるとの結論を得た。

以下、アバランシェ増倍動作のこの光導電ターゲットを HARP ターゲットと呼ぶ。

実験管のターゲット電圧 240 V (青色光に対する  $\eta$  が 10 となる動作条件) における測定結果を基

に、以下の(a)～(e)のHARPターゲットの主要特性について検討を行った。

#### (a) 残像特性

ターゲットの蓄積容量や撮像管電子銃のビーム温度から求めた容量性残像の計算値と実測残像値との比較を行い、両者が一致する結果を得た。このことから、HARPターゲットの残像には光導電膜の浅い捕獲準位に起因して生じる残像、すなわち光導電性残像が含まれていないことが明らかになった。また、この結果を基に行ったターゲットへのバイアスライト照射実験では、残像の低減効果が認められるとともに、その値は計算により求めた値と一致することを示した。

#### (b) 解像度特性

動作電圧および入射光の波長を変えた実験を行い、解像度特性にアバランシェ増倍動作による劣化や、波長依存性がないことを示した。また走査電子ビームがより細く絞られたハイビジョン用の2/3インチ電磁集束・静電偏向型の電子銃と組み合わせた撮像管では、限界解像度1400TV本以上という優れた解像度特性が得られた。このことから、HARPターゲット自体の分解能は極めて高く、それをを用いた撮像管の解像度は、電子ビーム系の特性に支配されることが明らかになった。

#### (c) 光電変換特性

HARPターゲットでは増倍率の電界依存性が極めて強いことに起因して光電変換特性の $\gamma$ 値が信号電流の増加に伴って徐々に小さくなることを明らかにした。また最大出力信号電流の理論値は従来型撮像管の場合の10倍以上あり、ターゲット自体のダイナミックレンジは極めて大きいことを示した。

#### (d) 雑音

過剰雑音係数を実測し、その値がアバランシェフォトダイオードの理論値よりもはるかに小さくなることを示した。この動作機構については、アバランシェ増倍においてはその増倍率の電界依存性が極めて強いことから、電化蓄積動作をする撮像管では、蓄積された電荷によって逆に増倍率が変調される一種の負帰還作用が生じて雑音が軽減されるとの考察を行った。

#### (e) 分光感度特性

a-Seのターゲットでは赤色光に対する感度がほとんどないとされているが、極めて強い電界で動作させるHARPターゲットでは、a-Seのバンドギャップ約2.0eVに相当する620nmまでの長波長光に対して感度を有することを示した。これについては、エネルギーの小さな長波長光で励起された電子・正孔対であっても、強電界動作によって再結合による消滅が減少するためとの考察を行った。

以上のようにHARPターゲットは単に感度が高いだけでなく、高画質な映像を得るのに必要なすべての特性を兼ね備えている。このターゲットの実用化を目的に、a-Se膜への不純物添加の検討を行い、画面欠陥低減と分光感度特性の改善(赤色光増感)を図ったHARPターゲットを開発した。

画面欠陥低減型HARPターゲットの開発では、HARPターゲットの強電界動作に起因して生じる画面欠陥の低減の検討を行い、a-Seの中で正孔に対する捕獲準位を形成する性質を有するLiFの信号電極界面近傍のSe膜への添加を試みた。これにより画面欠陥の発生が大幅に抑制された。

また、その効果がLiF添加による信号電極界面近傍Se膜の電界緩和に基づくものであることを電圧-電流特性の変化から確認することができた。a-Seの結晶化による画面欠陥発生の問題については、結晶化温度を高める作用をするAsの添加により対処した。これらの不純物添加により、室温状態であれば長時間動作させても画面欠陥を生じない実用HARPターゲットを得ることができた。

カラーカメラの赤チャンネル用ターゲットは、色再現の観点から長波長感度の限界波長が700nm程度までのびていることが好ましい。このためHARPターゲットの分光感度特性改善の検討を行い、赤色増感材であるTeを添加した赤色増感型の実用HARPターゲットを開発した。増感層の設計に際しては、各波長光に対する一次発生キャリアの量子効率の計算を行い、それがサチコン(実用されている従来型の撮像管)の量子効率実測値と最も近くなるTeの添加濃度とその膜厚を求めた。懸念されたTeの添加による焼き付き特性の劣化はほとんど認められなかった。これを基に、HARPターゲットでは、膜内の捕獲準位に起因する一次発生キャリアの増減があっても、アバランシェ増倍による二次発生キャリアの増減がそれを打ち消す方向に作用して焼き付きが抑制されるとした動作モデルの提案を行った。

以上に述べた実用HARPターゲットを用いた撮像管(HARP撮像管)を3管式カラーカメラに実装し、撮像実験を行った。被写体照度180lx、レンズ絞りF4の条件で、サチコンカラーカメラの2000lx、F4における場合とほぼ同等の高画質な映像が得られた。これにより、従来困難と考えられてきた高画質カラーカメラの10倍以上の高感度化が可能となることを確認した。また前述のHARPターゲットの残像、光電変換、雑音、焼き付き等の優れた諸特性を、この実験により視覚的にも確かめることができた。

本研究で生み出された高感度、高画質を特長とするHARP撮像管は、ハイビジョンの実用化で深刻な問題となっていたカメラの感度不足を解消するとともに、現行方式のテレビカメラにも適用され、夜行性動物や天体などの鮮明な撮影を可能にするなど、番組制作技術に大きな進歩をもたらしている。

## 審 査 結 果 の 要 旨

従来、テレビ放送に使用されてきた光導電型撮像管は、通常放送用には十分な感度を有していたが、次世代のテレビ放送として計画された高品位テレビ放送には、その6倍もの感度の必要性が指摘され、1970年代から、そのための開発研究が行われてきた。著者は、早期から、この研究に取り組み、撮像管の感度を決める光導電ターゲット中での、光励起キャリアの雪崩増倍作用を利用する事により、10倍以上の高感度化が達成できる事を見出すと共に、撮像管としての諸特性を詳細に検討し、欠点の除去法を考案して、全ての点で十分な特性を持つ超高感度撮像管を実現した。

本論文は、これらの研究成果を纏めたもので、全文7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、これ迄の電荷注入型と阻止型との二種類の光導電ターゲットにつき、高感度を検討した結果を述べている。即ち、前者では、光電変換の量子効率 $\eta$ を1以上とする高感度動作は可能であるが、残像特性が劣化し使用できない事、後者では、 $\eta = 1$ が理論限界であり、大幅な高感度化は不可能である事を明らかにしている。

第3章では、本研究で用いたa-Se光導電ターゲットの構造と、それを、従来、全く使用し得ないとされていた強電界下で動作させた場合の感度増大現象、及び、この現象の機構解明のための実験結果から、これがa-Se層内の雪崩増倍現象によるものであるとの結論に到った経緯を述べている。

第4章では、雪崩増倍動作の光導電ターゲット（HARPターゲット）につき、残像、解像度、雑音など、撮像管としての主要特性を詳細に検討した結果を述べ、このHARPターゲットが、高画質の映像に対する全ての条件をも満たし得るものである事を示している。この結果は、従来、雪崩増倍現象には残像特性、雑音特性の劣化が伴うものとされていた常識を覆すもので、高く評価できる。

第5章は、このターゲットで唯一の欠点とされた、強電界動作に伴う画像欠陥発生完全除去法と、赤チャンネル用の赤色増感ターゲットの実験結果を述べたものである。

第6章では、HARPターゲット撮像管を3管式カラーカメラに実装した撮像実験の結果を述べ、高画質で目標値を上回り10倍以上の高感度化が達成された事を示している。

第7章は総括である。

以上要するに本論文は、高品位テレビ放送用の高感度撮像管の開発研究を行い、従来の常識を覆す、雪崩増倍現象を利用した光導電ターゲットの開発に成功し、要求を十分に満たす高感度撮像管を実現すると共に、幾つかの新たな知見を得た研究の成果を纏めたもので、電子工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。