

氏 名	はた 畑	なか 中	よし 義	のり 式
授 与 学 位	工	学	博	士
学位授与年月日	昭和49年7月3日			
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項			
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 応用物理学専攻			
学位論文題目	焦電検出器の研究			
指 導 教 官	東北大学教授 上領 香三			
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	高橋 正	東北大学教授	縄田 滋則
	東北大学教授	高橋 実	東北大学教授	池田 拓郎
	東北大学教授	小野 昭一		

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 緒 言

焦電効果そのものは古くから知られていたものであるが、これを光の検出器として応用するとき、次のような特徴があげられる。熱的現象によるため波長限界がなく、遠赤外からサブミリ波領域の検出器として使用出来る。常温使用が出来る。固体検出器で小形丈夫に出来る。割合高感度に出来る。感度を犠牲にすれば高速応答性を有する。などの特徴をもち、赤外及び遠赤外レーザーの開発と相まって脚光を浴びるに至った。

しかしながら、この検出器の出力波形は使用条件により、あるときは入力パワーと対応した出力波形となり、またあるときは積分波形となり、さらにまた微分波形となる場合もある等、熱的現象による効果と、電気的現象による効果とが混然として、きわめて理解を妨げてきた。点形の検

出器としてはすでに実用の域にあるが、焦電応答の本質論については、あまり論じられることがなかった。本研究はパルス入射光に対する過渡応答に注目し、素子内部での熱の拡散効果をも含めて焦電応答を取扱った。まず点形の素子に対して理論的実験的に動作を解明し、設計論について論及し、つぎに点形を面として拡張し、2次元的像の検出器としての新しいデバイスの可能性を理論的及び実験的に実証した。

## 第2章 焦電検出器の基本的特性

自発分極をもつ結晶を焦電結晶というが、この自発分極は通常温度平衡状態において外部には電界のあらわれない中和状態になっている。しかし外部から熱が加えられると内部の自発分極が変化し、一般には減少し中和状態が破れて表面に電荷があらわれる。この電荷を電極により集めて外部へ導びき出したものが焦電流であり、これを負荷抵抗を通して流すときに得られる電圧が出力電圧となる。

## 第3章 集中定数モデルにおけるパルス応答

焦電検出器は熱現象を介しており、その素子は感熱素子であり熱的な時定数( $\tau_t$ )の影響を受け、また電気信号として出力を得るために、出力回路の電気回路の時定数( $\tau_e$ )の影響も受ける。素子電体が一様に温度変化するとした場合における焦電応答をパルス入射光、特にステップ状入射光を用いての考察を本章で行う。

$\tau_e$ と $\tau_t$ の大小関係より焦電応答の出力波形への寄与が変わってきて、 $\tau_e \ll \tau_t$ の場合、立上り時定数は $\tau_t$ で決まりステップ応答でのサグ的減衰の時定数は $\tau_t$ によって決まる。パルス高及び立上りの時定数は負荷抵抗に比例する。 $\tau_e \gg \tau_t$ の場合には上記と逆の関係で、立上り時定数は $\tau_t$ で決まり、減衰の時定数は $\tau_e$ で決まる。パルス高及び立上りの時定数は負荷抵抗に無関係である。 $\tau_t$ と $\tau_e$ が接近するとき各要素はそれぞれ $\tau_t$ と $\tau_e$ の両方の影響を受ける。しかしながら立上りの初期勾配は $\tau_e$ ,  $\tau_t$ に無関係で、第5章の設計で重要となる性能の指針を与えるものとなることが明らかとなった。これらのことが実験と考察により示された。

## 第4章 分布定数モデルにおけるパルス応答

素子に光が照射されると熱は表面若しくは表面近くで最も発生し、表面より内部へ拡散する。この過渡状態において熱的な問題と焦電流の結合した関係に注目し、光パルスの入射した場合における焦電流応答を検討した。

理論的取扱いにおいては二つの境界条件のものを取り上げた。一つは(a)入射光により温められるけれども放熱はしないもの、もう一つは(b)光の入射と反対の後面に温度変動のないヒートシン

クが密着されているというものである。ステップ入射光が照射されたとき及び止められたときにおける素子内における温度分布を時間空間の関数として求め、各部の焦電流への寄与を集め焦電流応答を求めた。

素子内における焦電係数が均一なもので(a)の場合には、素子にパルス光が入射されると瞬時に素子全体が平均的に温められたとした場合に等しい値の焦電流が入射パワーに応じてステップ状に得られる。光が止められると瞬時に焦電流は零となり、素子内で熱の移動があっても、その影響は焦電流にはあらわれてこない。この関係は図 4.1 において、曲線の横零軸と囲む面積は常に正負等しく総和を取ると零になることより明らかに説明出来る。(b)の場合には素子からヒートシンクへ流出した熱の分だけパルスにはサグを生じ、かつ光の止められた時に逆方向のスパイクを生ずる。このことは図 4.2 で負の囲む面積の方は熱がヒートシンクへ流出した分だけ大きいことに対応している。

素子内の焦電係数( $\lambda$ )が不均一な場合、これは素子作成上で表面に研磨や電極付け、吸光材の塗布の過程で表面に内部の焦電係数( $\lambda$ )と異なるもの( $\lambda'$ )を持つことが想定される場合のために行ったものである。この場合の焦電応答は、光の入射した瞬時においては光の吸収された局所の焦電係数にかかわる焦電流が流れ、熱が全体に拡散するにつれて、素子全体の平均的焦電係数による焦電流値へと漸近する。図 4.3 には種々の $\lambda'$ に対する応答波形を示した。表面の $\lambda'$ の層は全体の5%の厚さの場合を示している。ここに示した波形は従来しばしば観測されていたものであり原因が不明であったが本解析で明らかとなった。このことはまた検出器素子の作成上有益な資料となった。

## 第 5 章 点形焦電検出器の設計

点形焦電検出器を設計する場合、目的からして二つの場合に大別出来る。即ち、遠赤外における非冷却高感度検出器としてゴーレイ検出器のかわりに使用しようとする場合、と感度は必要ないが高速応答をさせる場合である。それぞれに適した設計方針が立てられる。焦電材料の選択及び素子の形状、寸法は、検出器総体の特性としてステップ応答の際立上りの初期勾配が大きくなるようにするのが設計指針の根本である。その他素子の温度上昇、光吸収材、電極付け、雑音およびマウント方法について合わせて考察を行った。

## 第 6 章 焦電効果を用いた面形光検出器

焦電検出器はもともと平板上のものであり、面という構成に好都合である。平板状素子に光を結像させたとき熱の像が出来、これが焦電効果により電荷像となり、この電荷像を電気信号として取り出せば、遠赤外からサブミリ波域に使用出来る新しい2次元的検出器となる。電荷像は平

板における熱拡散と密接に結びついており、熱の面方向への拡散により、その空間的分解能が制限される。入射光をチョッピングする周波数 ( $f$ ) と空間的分解能は関係をもち、例えば TGS 平板において  $f = 33 \text{ Hz}$  のとき空間周波数  $30 / \text{cm}$  に対する変調率は 70% である。

## 第 7 章 面形焦電検出器の電荷読み出し動作解析

焦電性平板 (ターゲット) 上に生じた電荷像をどのようにして取り出すかにより、種々の方法が考えられるが、ここではピデコンと同じようにターゲットとして光導伝物質のかわりに焦電性平板を用いて直接ターゲットからの出力電流を増幅して読み出す方式のものについて検討する。

ターゲット上の電荷を読み出すのに一番大切な問題として、ターゲット電位の安定化がある。カソード電位において実現する CPS 法と、アノード電位もしくはメッシュ電位において実現する APS 法とがある。焦電物質は絶縁物である故 CPS 法では電荷の帯電により電子のビームランディングを安定にさせるのが非常に困難で、本論文では APS 法を取り上げた。この方法で、2 次元電荷像を電子ビームによって走査し取り出すまでの動作について詳しく解析し、入力光像と出力信号電流の間の伝達特性を求め、最適動作について検討を行った。

## 第 8 章 面形焦電検出器の電荷読み出し実験

実験には組立て型の真空ポンプの付属した装置を用いて行った。電子銃は静電集束、静電偏向を用い、カソードはタングステンフィラメント自身を用いている。加速電圧は  $300 \text{ V} \sim 1,200 \text{ V}$  の間で適当に出来るようになっている。装置全体のブロックダイアグラムを図 8.1 に示し、得られた画面を図 8.2 および図 8.3 に示す。図 8.3 は光入射後それぞれの時間遅れをもって取り出した画面である。F は光を止めた後  $40 \text{ m sec}$  のときのもので、焦電応答特有の反転した画面が得られている。

ターゲットより電荷を読み出すためにはターゲット電位が平衡しており、かつ電位が焦電効果により微少に変わったとき、ビームのランディングが適正でなければ信号を読み出せない。図 8.4 にはメッシュ電位に対してターゲット電位の偏った場合に電流の流入流出の様子を示したものである。帯電効果をさけるためパルス電子ビームを用いて行った。ターゲット電流零の横軸を切る点のカーブの勾配がビームの実効的なコンダクタンスを表わし、TGS、PZT そのままではビームコンダクタンスがきわめて小さく、2 次電子放出率の大きい物質、例えば KCl を蒸着して用いると実効ビームコンダクタンスを大きく出来ることが明らかとなった。またこのことは、別に実験を行ったところの、ターゲット電位の一様性の点からもすぐれていることがわかる。またさらに KCl 膜はターゲットを電子ビームから保護する意味も生じ、多くの利点を持つ。図 8.2、8.3 はこのような処理を行って得た画面である。

## 第9章 結 言

本研究は、素子内部での熱の拡散効果の過渡状態をも含めて、パルス光を入射したときにおける焦電流の過渡応答を取扱った。まず点形素子について理論的実験的に動作を解明し、設計について論じた。次に面的取扱いへ拡張し、新しい2次元的面形検出器の可能性と問題点を実験と解析を通して明らかにした。

### 謝 辞

本研究は故上領香三教授の御指導の下に行なわれ、真摯な研究への情熱と温かい配慮をもって筆者の身に余る御指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

本論文をまとめるにあたり、高橋正教授、高橋実教授、池田拓郎教授、縄田滋則教授、小野昭一教授には御多忙のところ多くの時間をさいて下さり御懇切なる御指導と御助言を賜わりここに深く感謝申し上げます。また温かい励しをもって論文の細部に及ぶ検討を与えて下さいました柴田幸男教授、鹿野哲生助教授、蝦名惇子助教授に合わせて、心から感謝申し上げます。

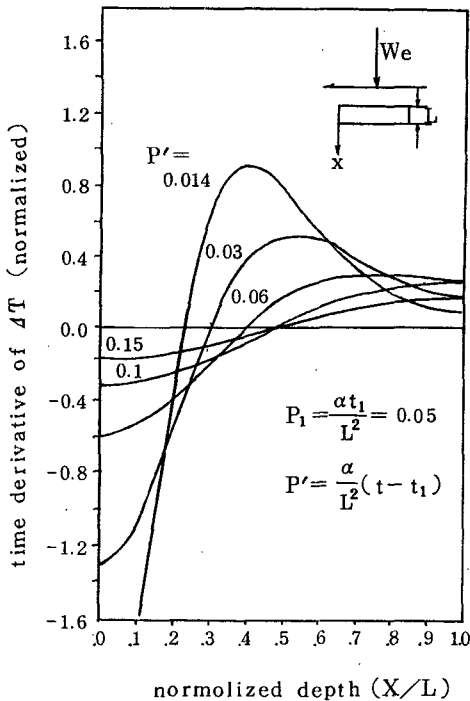


図 4.1 ヒートシンクのない場合、 $t = t_1$  で入射光が止められた後における温度  $\Delta T$  の時間微分値

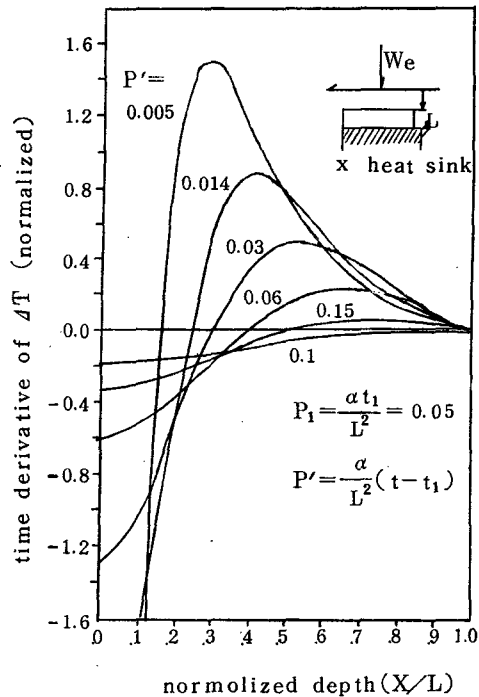


図 4.2 ヒートシンクのある場合の  $t = t_1$  で入射光が止められた後における温度  $\Delta T$  の時間微分値

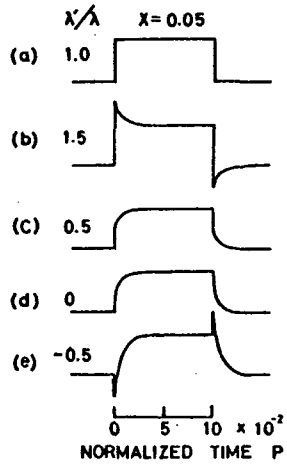


図 4.3 種々の  $\lambda$  に対する焦電流のパルス  
応答波形

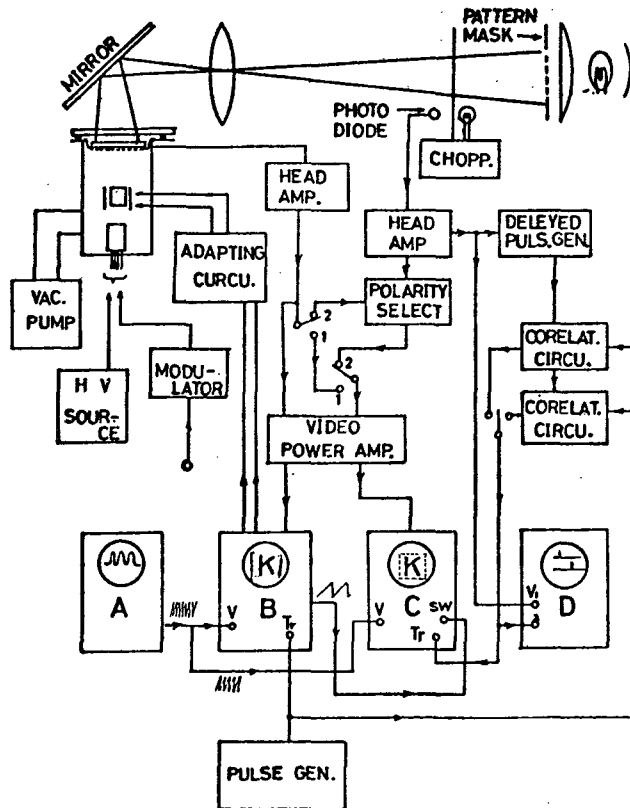
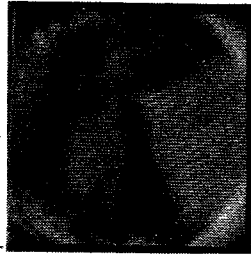


図 8.1 装置全体のブロックダイアグラム



FRAME 12Hz  
 RASTER 80  
 LIGHT COPP. 2Hz  
 TARGET PZT  
 THICKNESS 60 μm

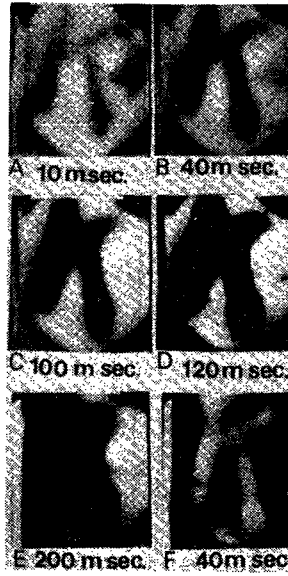


図 8.2 出力画像

図 8.3 出力画像の時間的变化

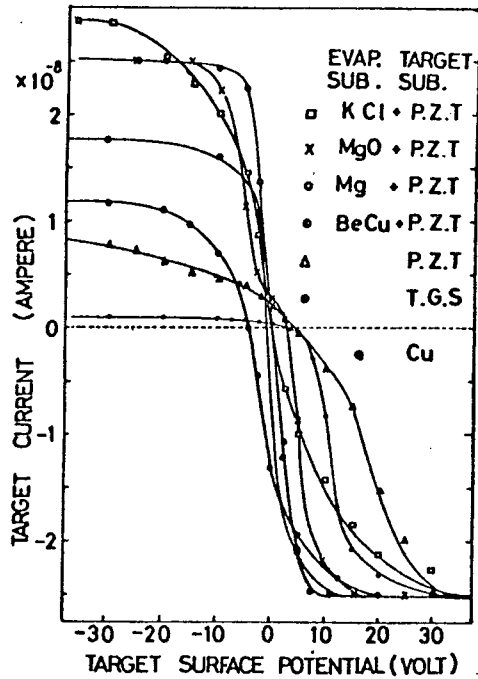


図 8.4 ターゲットへの電子流，流入特性の表面電位依存性

## 審 査 結 果 の 要 旨

赤外およびサブミリ波領域においても、レーザー等の開発により、この波長領域における光の検出器の性能の向上がのぞまれている。焦電検出器は熱形検出器のなかで、高感度で、はやい応答特性をもつものとして注目を浴びるようになり、この種の検出器に関する研究の促進が要求されている。

本研究は、点形および面形の焦電検出器のパルス入射光に対する過渡特性を、素子内部での熱拡散効果を考慮に入れて解析し、焦電効果を用いた面形光像検出器の実現の可能性を実証したもので、全文9章よりなる。

第1章は緒言である。第2章では焦電検出器の基本的特性について述べている。

第3章では、焦電検出器を集中定数回路的に取扱い、ステップ入力に対する過渡特性を解析し、出力電圧の立上りの初期勾配が外部条件によらないことを明らかにし、この量が検出器設計上の素子の指標となることを示している。

第4章では、素子内の過渡的熱分布を考慮して焦電検出器のパルス応答特性を解析し、さらにその解析結果の妥当性を実験的に確かめている。この解析のなかの焦電係数が素子内で不均一な場合についての結果は、複雑な出力波形の解明のための手段として重要である。第5章では、第4章までに得た結果を基礎として、点形検出器の設計について検討している。

第6章では、熱拡散の効果を考慮した過渡特性の解析を2次元の場合に拡張し、焦電効果によって赤外像から変換された電荷像の空間分解能を検討している。本章で得られた赤外像のチョッピング周波数と空間分解能との関係曲線は、面形焦電検出器の設計の基礎として重要である。

第7章では、焦電素子をビデコンのターゲットとして用いた場合の素子上電荷像を電子ビームによって電気信号として外部に取出すときの動作を解析している。

第8章では、焦電素子をもつビデコンの方式によって赤外像を可視像へ変換する装置を試作しこれを用いて行った種々の実験について述べている。ここでターゲットの内面にKCIを蒸着し2次電子放出比を増大させると、電子ビームのインピーダンスが低下し、感度の向上に効果のあることを明らかにしている。これは新しい知見である。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、焦電検出器の動作特性の解析を行い、焦電素子を用いて赤外像を可視像に変換する新しい方式を提示したもので、応用物理学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。