
画 像 通 信 特 集

シリコンターゲットビジコンの開発.....	51
多次元解析による画像品質の評価法とその応用.....	56
高速ファクシミリの開発.....	63
ファクシミリ信号帯域圧縮装置.....	71
画 像 応 答 シ ス テ ム.....	76

シリコンターゲットビジコンの開発

Development of Silicon Diode Array Vidicon

村田 良雄*
Yoshio Murata芦川 幹雄**
Mikio Ashikawa草間 武夫***
Takeo Kusama

要 旨

テレビ電話用撮像管として用いられるシリコンターゲットビジコンを開発した。ターゲットは面指数 100 を用い、ダイオードピッチは 10μ である。解像度は 550 TV 本、残像は結晶比抵抗で調整し、普通のビジコン並み、また暗電流を減らすには低電力ヒータの採用が有効であり、寿命としては 2,000 時間で暗電流変化のないものを得た。製作上の欠陥による白きずはなくなり、結晶内部欠陥による白きず、黒きずが残っている。きずと残像のかねあいから動作ターゲット電圧は 10V が適当である。

1. 緒 言

テレビ電話を一般の ITV 装置と比較すると、その特殊性としては次の点があげられる。

- (1) 照明、環境条件がまちまちであり、強い光で日射にさらされることがある。
- (2) 伝送路の経済性から所要の帯域幅に制限があり、一方、書画伝送での高解像度画質を必要とするため、電子ズームの手段を用いる。
- (3) 画像の被写体の位置の調節をカメラから離れて行なうため、純電子的方法（チルティング動作）を用いる。
- (4) 使用数量が多いので高信頼性と長寿命が必要である。

従来の三硫化アンチモンを光導電材料としているビジコンでは電子ビームによる焼付けがあり、電子ズームやチルティングには不向きであるし、強い光による焼付けがあり環境温度にも制約があったが、シリコン板にフォトダイオードアレイを作り光導電面としたい。いわゆるシリコンターゲットビジコン（以下 STV という）は電子ビームや光による画像の焼付けがなく、しかも高感度であるのでテレビ電話用撮像管として有望視され、早くから各方面で検討されてきた。日立製作所においても、昭和 43 年より本格的に開発に取り組み、現在画質、感度その他の特性において実用に供しうるものができるようになったので、そのプロセス上の問題点と STV の特性について検討する。

2. 原理と構造

図 1 は 1 インチの STV H 8358 の外観であり、これを用いたテレビ電話機研試 44H 形を示したのが図 2 である。これらは日本電信電話公社電気通信研究所に納入されたものである。

STV では従来の蒸着膜の代わりに光ダイオード・アレイをターゲットとして用いているが、ビジコンとしての本質的な動作原理は変わっていない。しかしダイオード・アレイに伴う独自の問題があるので、それらを含めて本章ではターゲットの構造およびその動作原理について説明する。

2.1 構 造

図 3 に示したのはターゲット近傍の概要図である。ターゲットは外径約 20 mm の N 形 Si 基板表面に互いに分離して P 形領域を形成した PN ダイオードから構成されている。P 形領域は約 $1\mu\text{m}$ の深さのボロン拡散層から成り、そのピッチは $10\mu\text{m}$ である。電子ビーム走査側面に露出している N 形領域の表面は電子ビームの直接流

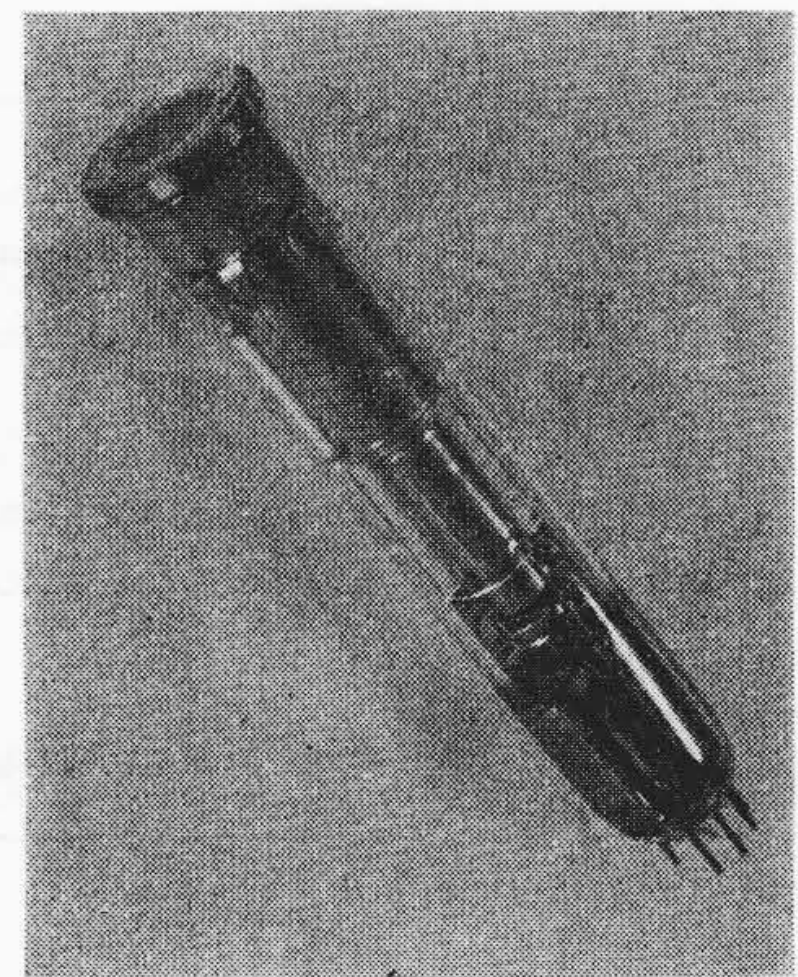


図 1 シリコンターゲットビジコン H8358

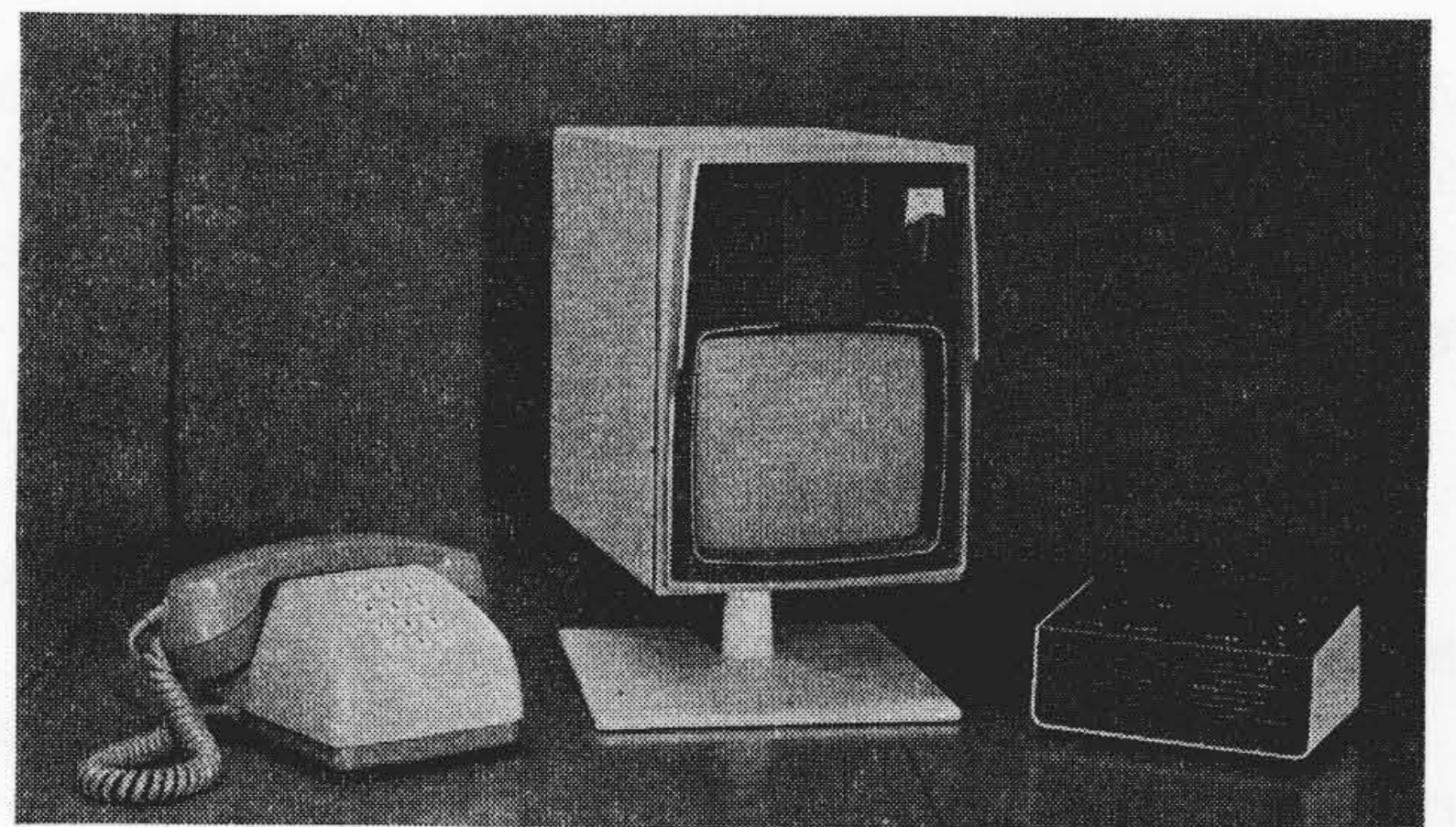


図 2 研試 44H 形テレビ電話機

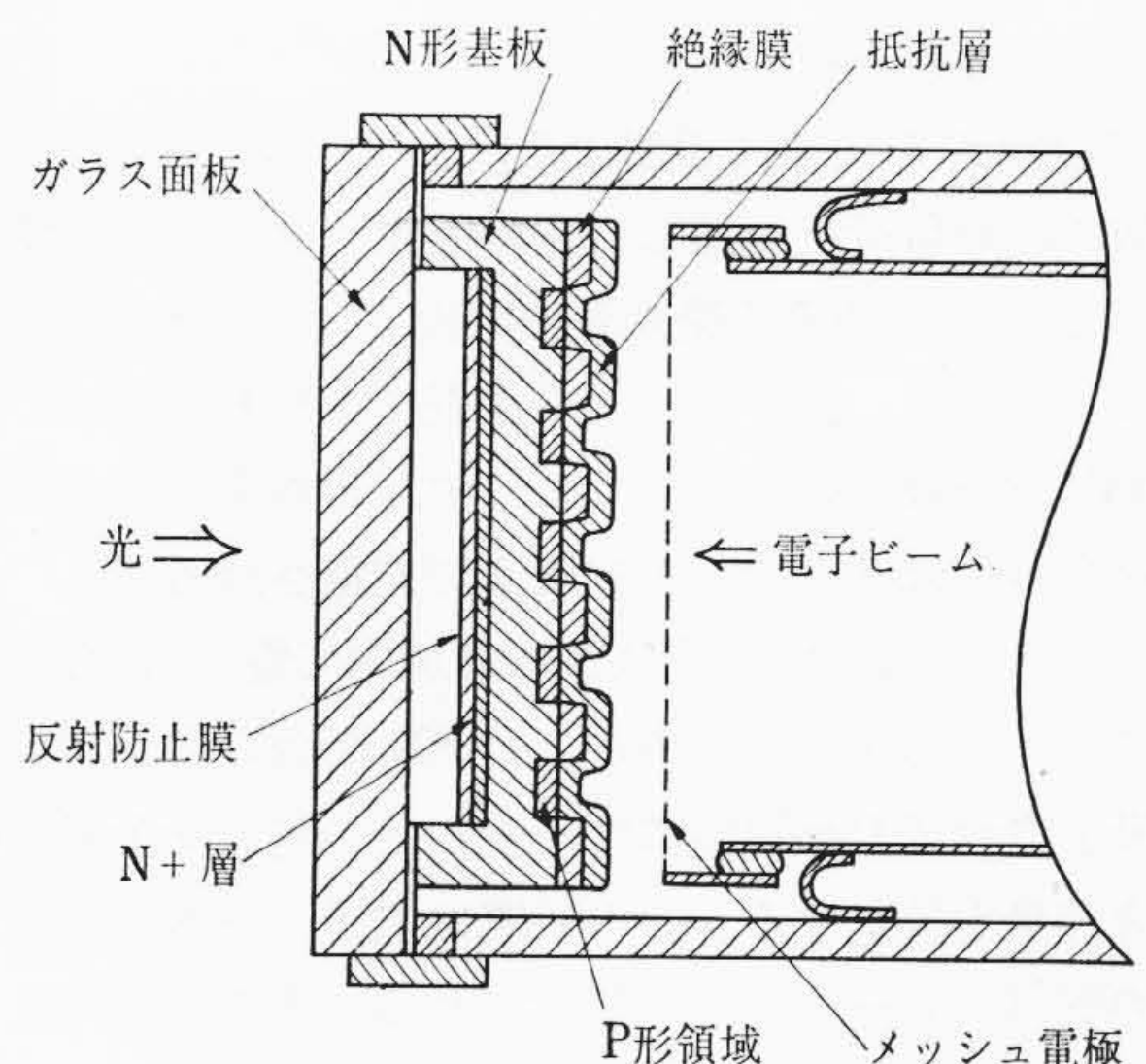


図 3 ターゲット近傍の断面構造

* 日立製作所電子管事業部

** 日立製作所中央研究所

*** 日立製作所戸塚工場

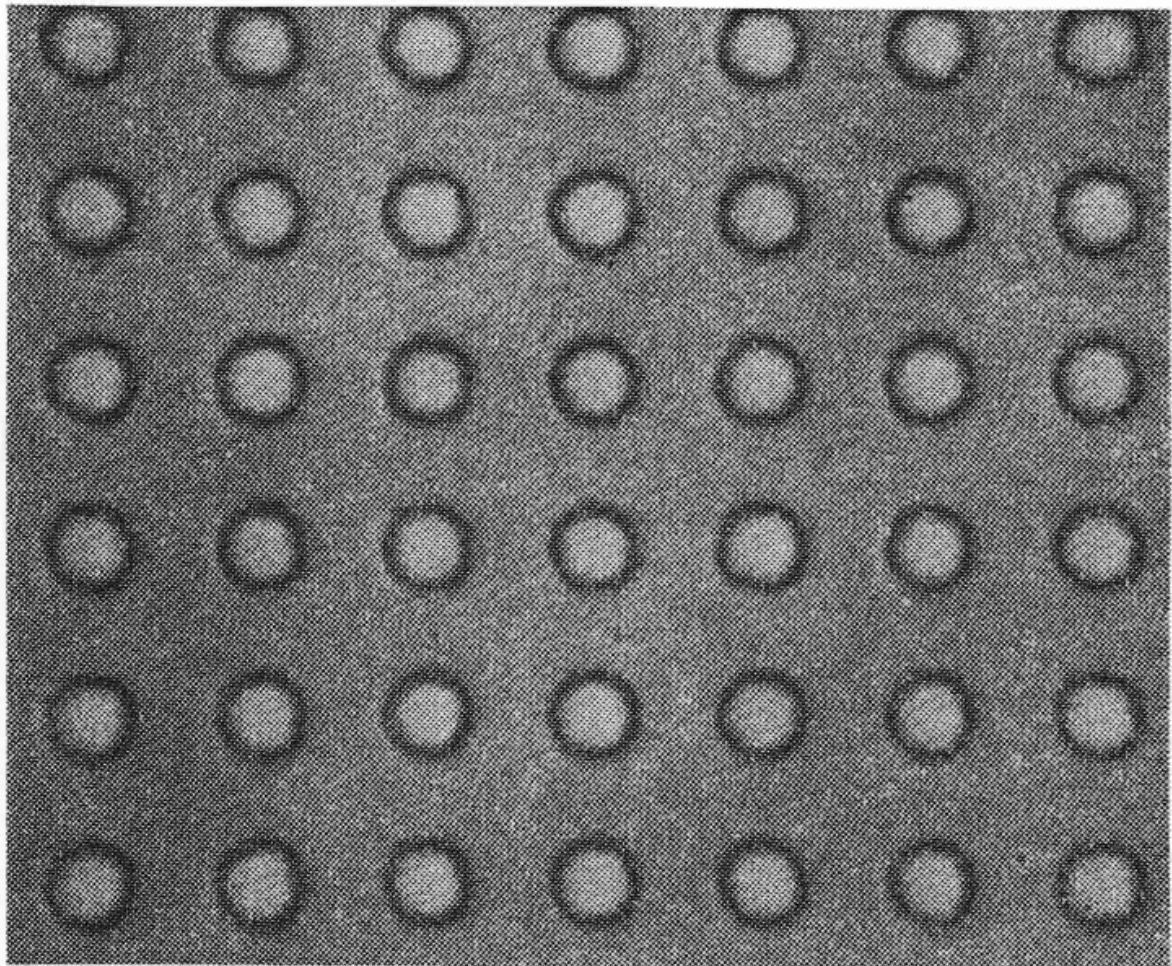


図4 ターゲットのダイオード・アレイの拡大写真

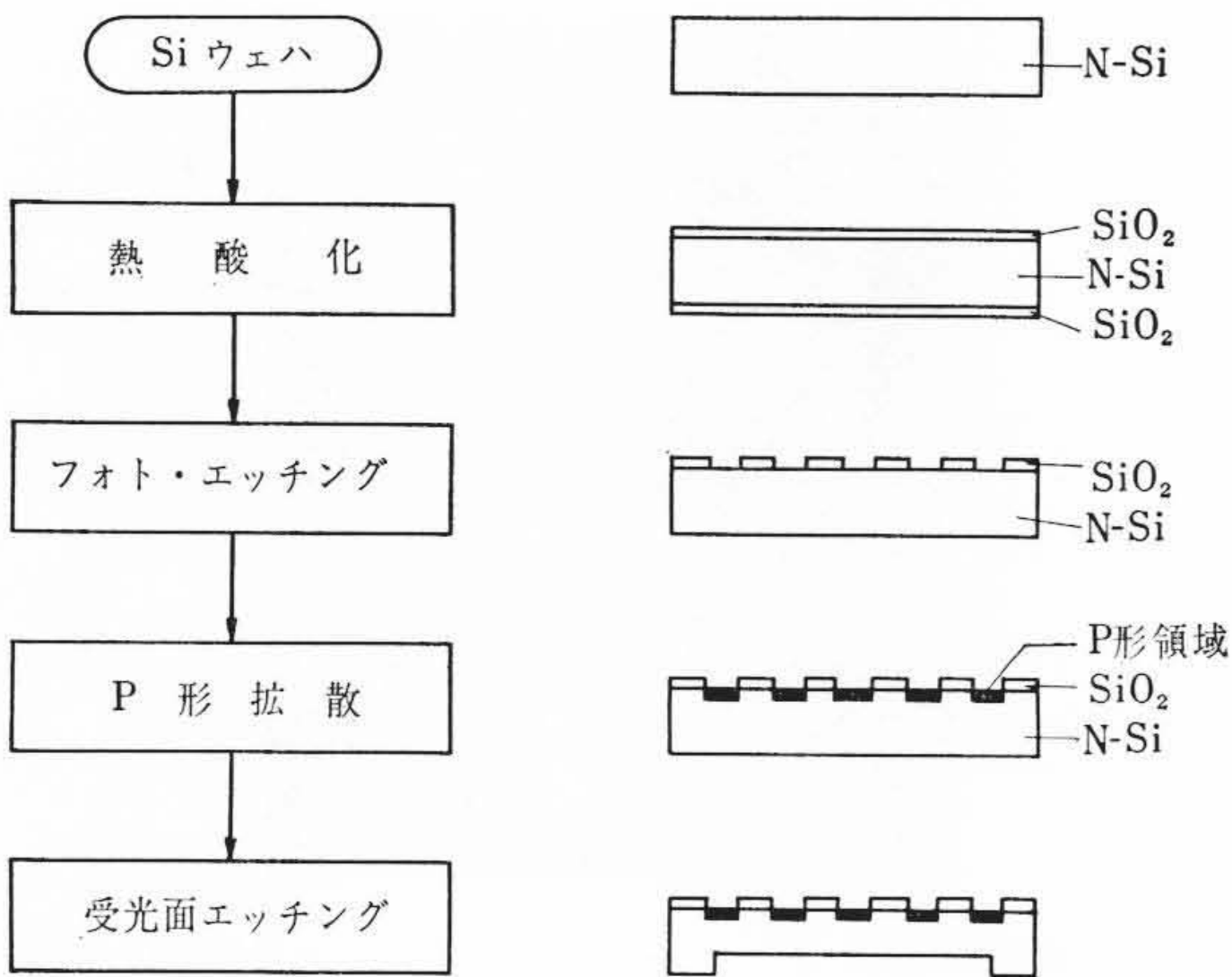


図5 ターゲット製作プロセス

入を防ぐために SiO₂ から成る絶縁膜でおおっている。さらに表面全体に、Sb₂S₃ を主体とする薄い抵抗層を蒸着してある。図4はダイオード・アレイ面の拡大写真で、白く見える四角な部分がP形領域である。

受光側表面には反射防止膜および特殊な方法によって形成したリンの拡散層 (N⁺ 層) がある。

ターゲットの中央部の厚さは約15μm であり、周囲1mm 幅は機械的強度を保つために100μm 程度に厚くしてある。

電子銃には特にSTV に特有なものではなく、従来からある種々の構造の電極をそのまま利用できる。現在、われわれが主として製作している H8358 は、電磁集束、電磁偏向、メッシュ・セパレート構造 (8541 B 形) の電極を用いている。その代表的動作例を表1に示す。

2.2 動作原理

STV の動作原理を簡単に説明する。

N形領域には負荷抵抗を通じて正の電圧 (ターゲット電圧) が印加されている。いわゆる低速走査の条件 (二次電子放出係数 $\delta < 1$) が満足されていると、電子ビームの走査によりP形領域の電位は陰極電位 (0V) 近辺に安定化される。すなわちPN接合は逆バイアスされ、接合容量はターゲット電圧まで充電される。

受光側面に入射した光量子はN形領域内で電子-正孔対を作る。少数キャリアである正孔は拡散によりPN接合の空乏層に達し、その電界に吸引されてP形領域にはいり、その電位を上昇させる。すなわち接合容量を放電する。この放電は電子ビームの走査から次の走査までの間 (フレーム時間) 続けられる。次の走査によって接合容量は再び充電される。そのとき流れる充電電流はフレーム時間内に入射した光量子数、言いかえると入射光の強度に比例し、映像信

表1 H8358 の代表的動作例

方 式	電 磁 集 束・電 磁 偏 向 (注)
走 査 面 積	9.5×12.7 mm ²
ヒータ電圧	6.3 V
ヒータ電流	95 mA
第4グリッド電圧	300 V
第3グリッド電圧	180 V
第2グリッド電圧	300 V
第1グリッド電圧	調 整
集束磁界	33 G
ターゲット電圧	10 V

注：電極構造およびピン配列は 8541B と同じ

号として外部回路に取り出される。

以上述べたことは一般的な動作原理についてであるが、これ以外にシリコンターゲット特有の問題があるので、以下、それらについて若干説明を加える。

絶縁膜 (SiO₂) 上を電子ビームが直接走査すると、ビームのエネルギー分布の影響により、その表面が1~2V 負の電位になり、電子ビームのP形領域への入射を妨げる作業をする。またこの負電位は絶縁膜直下のN形領域表面のP形チャンネル形成を助長する方向に働き、ダイオードのP形領域間を短絡しやすくする。P形領域相互間のリーケージを生じない程度の高い抵抗 (10¹²~10¹⁴Ω・cm⁻²) 薄膜をターゲットのダイオード側表面に被着することによって絶縁膜の表面電荷を除きこれらの現象を押えることができる。しかしダイオードの幾何学的構造の選択、あるいは表面状態を変化させることによりこの抵抗層なしで正常な動作を行なわせることも可能であろう。

また、受光側面に入射した光量子は可視光ではターゲット面から1~数μm の深さまでの間に吸収され、ターゲットが厚い場合、正孔の拡散により解像度が低下する。また空乏層に達するまでに電子との再結合により正孔が消滅するために感度が低下する。このため、ターゲットの厚さは機械的強度が保てる範囲で薄く (8~15μm) してある。

通常のプロセスでは受光側表面がP形化する傾向があり、そのために表面近傍で発生した正孔は表面に引き寄せられて再結合し感度に寄与しなくなる。この領域は dead layer と呼ばれ、特に短波長光 (青色) に対する感度を低下させる。この対策として受光側表面に内部より不純物濃度の高いN⁺層を形成し、built in field で正孔をN形領域内部へ送り込むことにより短波長光に対する感度を向上させている。また、Si 表面での可視光の反射率は通常30~40% であるのでこの反射損失を減らすために反射防止膜を設けることは有効である。

3. 製作プロセスとその問題点

シリコンターゲットの製作プロセスの大筋は、一般のIC技術をそのまま利用しているが、特に欠陥に関する拡散などの工程ではターゲット独自の方法を開発する必要があった。以下、本章では製作プロセスの概要とその問題点について述べる。

3.1 製作プロセス

現在われわれが主として用いている基板は、面指数 (100)、比抵抗5~10Ω・cm、厚さ150μm のP (リン) ドープのN形シリコンCZ単結晶である。これ以外にFZ単結晶、あるいは面指数 (111) の基板などの利用も試みたが、現状のプロセスでは暗電流、欠陥などの面でまだ問題が残っている。シリコンターゲットの製作プロセスは図5に示すようにまず上記の基板表面にSiO₂膜を高温酸化法に

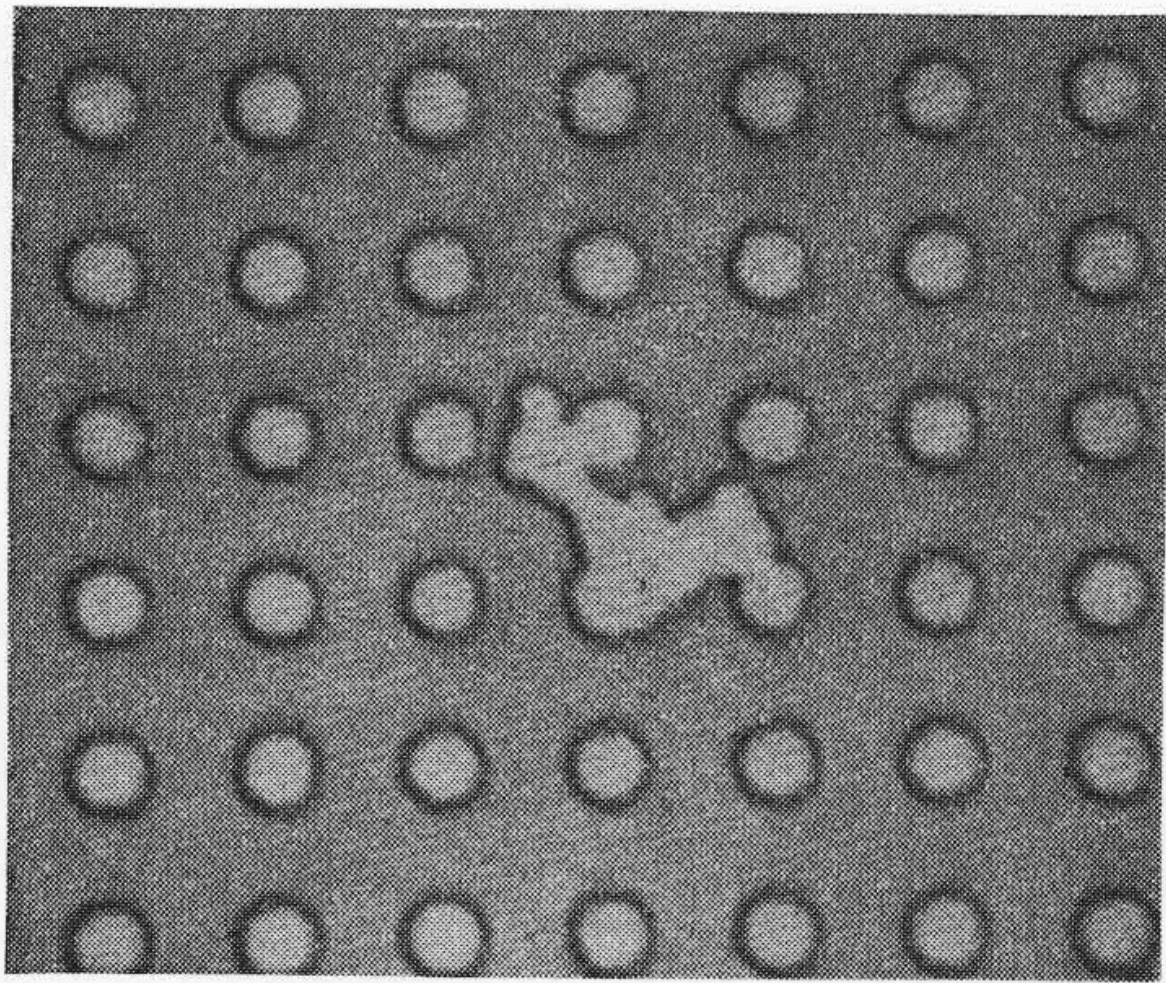


図6 ターゲットダイオード周辺の形状不良

より形成する。この SiO_2 膜に写真食刻法により P 形不純物拡散用の穴をあける。フォトマスクは $10\ \mu\text{m}$ ピッチで $4\ \mu\text{m}$ の穴を配列したものであるが、この寸法は現在の技術ではまだ余裕があり、さらに 20~30% 小さくすることも検討中である。

この SiO_2 膜の穴を通して P 形の不純物である B (ボロン) を熱拡散する。拡散条件としては濃度 10^{19} 個 $\cdot \text{cm}^{-3}$ 、深さ $1\ \mu\text{m}$ 程度が妥当である。

しかしその濃度分布、拡散深さはほかの熱プロセスとともにターゲットの暗電流欠陥と密接に関係している。そのため拡散法およびその制御に独自の工夫が払われている。

次にターゲットの光入射面側を化学エッチング法により、周囲約 $1\ \text{mm}$ のリングを残して、厚さ $15\ \mu\text{m}$ まで薄くする。これでターゲットの外形は完成するが、その後必要に応じて反射防止膜、 N^+ 拡散層、抵抗層などの形成、あるいはアニールを行なう。管球封止、排気などの工程は通常のビジコンとほぼ同じものである。

3.2 問題点

ターゲットの製作プロセス上の最大の問題点が欠陥、特に白いスポット状のきずの除去法にあることは周知の事実である。

結晶基板としては最近無転位単結晶が比較的容易に入手できるようになったが、この種の結晶では高温プロセス中での不純物の析出、転位の発生が起こることが多く、必ずしも無転位のものが転位のあるものに比較して良い基板であるとはいえない。また結晶の表面加工法にも問題が残っており、ターゲット用の結晶の最適仕様を設定するにはまだ不明な点が多く残っている。

開発の初期には、図 6 に示したようにフォトマスクあるいは写真食刻法の不備に伴うダイオード周辺の SiO_2 膜の形状不良が多くあり、その大部分が白きずの原因となっていた。しかしこれらの欠陥は徐々に減少し、現在では顕微鏡などで観測できる白きずの原因はほとんど姿を消している。残る問題は目に見えない結晶欠陥の除去である。現在われわれが観測している白きずの大部分は、現象的にはダイオードのソフト・ブレイクダウンと考えている。白きずと結晶の積層欠陥が対応しているとの報告があるが⁽¹⁾、われわれの実験では必ずしも白きずが積層欠陥に対応せず、不純物の析出などほかの原因も存在すると判断されている。

白きず以外にも黒きず⁽²⁾、むらなどの欠陥が存在する。黒きずの原因としては、ダイオード面上の SiO_2 膜の除去不完全など形状不良的なものも多いが、その他にも光入射面側表面付近での高密度の転位、マイクロクラックへの不純物析出を原因とするものもある。またむら状の欠陥は主として洗浄不良が原因になるが、フォトレジスト膜の除去、P 形不純物拡散後のボロンガラスの除去などの問題についても従来の IC 技術以上に慎重な対策をとる必要が生じてくる。ともかく、白きずの原因はプロセスのあらゆる所に存在しているの

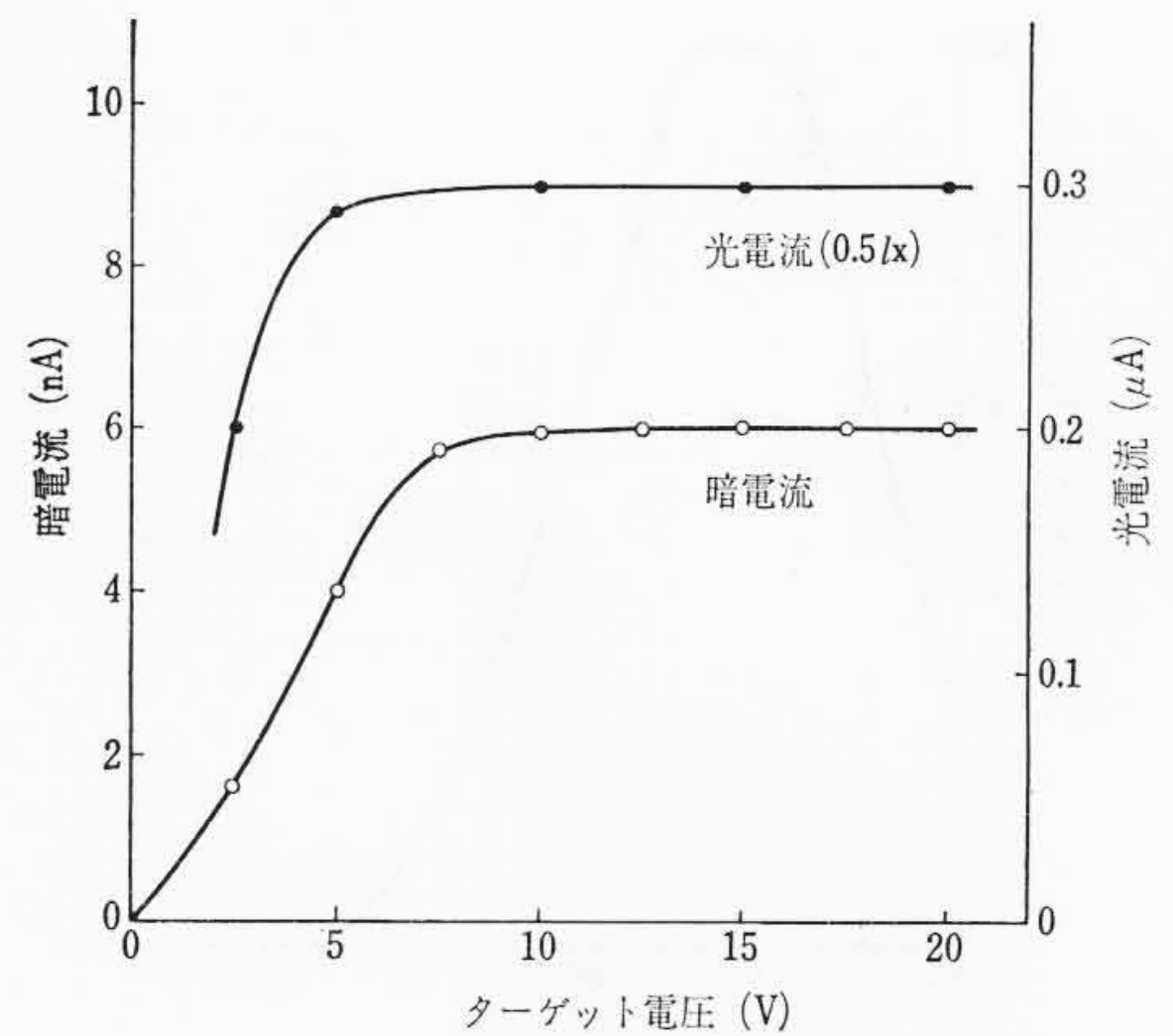


図7 シリコンターゲットビジコンのターゲット電圧・電流特性例

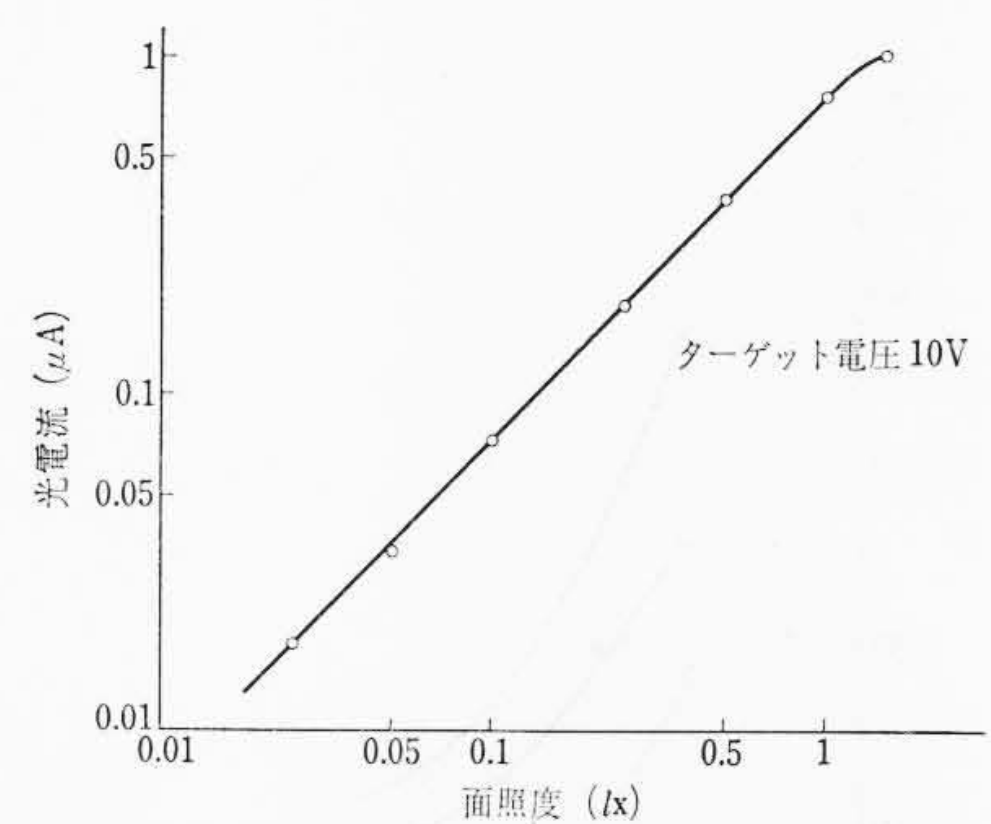


図8 シリコンターゲットビジコンの光電変換特性例

で、基板の検査から始めて管球への組立時まで随所にきずのチェックポイントを設けるなどきびしい工程管理を必要とする。

次に暗電流とプロセスの問題について若干説明する⁽³⁾。暗電流が大きくなる主要な原因は、 Si-SiO_2 界面での g-r 中心の存在である。これを減少させるためには SiO_2 膜の形成法、アニール、リンあるいはボロンガラスによる不純物のゲッタリングなどを適宜組み合わせてプロセス工程に入れる必要がある。プロセスの良否については検査用のダイオードを製作して、その特性から判断するのが有効な手段である。

4. 特性

4.1 電流-電圧特性

図 7 に示したのは、代表的な暗電流および光電流対ターゲット電圧特性である。暗電流はターゲット電圧とともに増加するが、6~8 V 以上では明確な飽和傾向を示している。その絶対値はターゲット電圧 10 V で 5~10 nA が平均的水準であるが、5 nA 以下にすることも可能である。

光電流も入射光量によって若干変化はするが、やはりターゲット電圧 5~6 V 以上で明確に飽和する。

ターゲット電圧は飽和領域である 6 V 以上に設定されるが、その上限は白きずの出現状態 (15~20 V 以上で白きずが増加する例が多い) によって決定されているのが現状なので、ターゲット電圧の範囲は 6~15 V になる。

4.2 光電変換特性と分光感度

図 8 は光電変換特性であり、横軸は色温度 $2,854^\circ\text{K}$ のタングステン電球を使用した場合のビジコン面での照度である。ガンマ値は 1 であるが高照度側ではそれが小さくなる傾向がある。

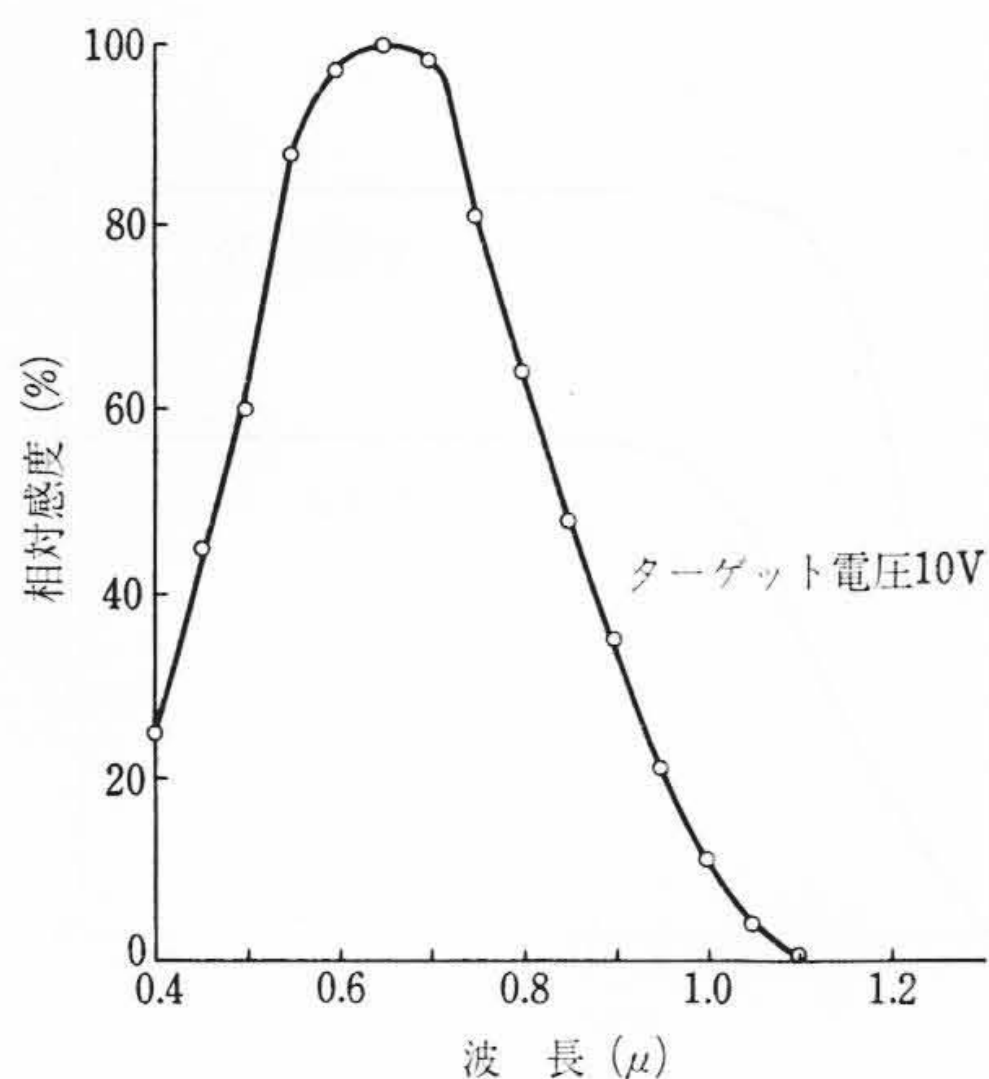


図9 シリコンターゲットビジコンの分光感度例

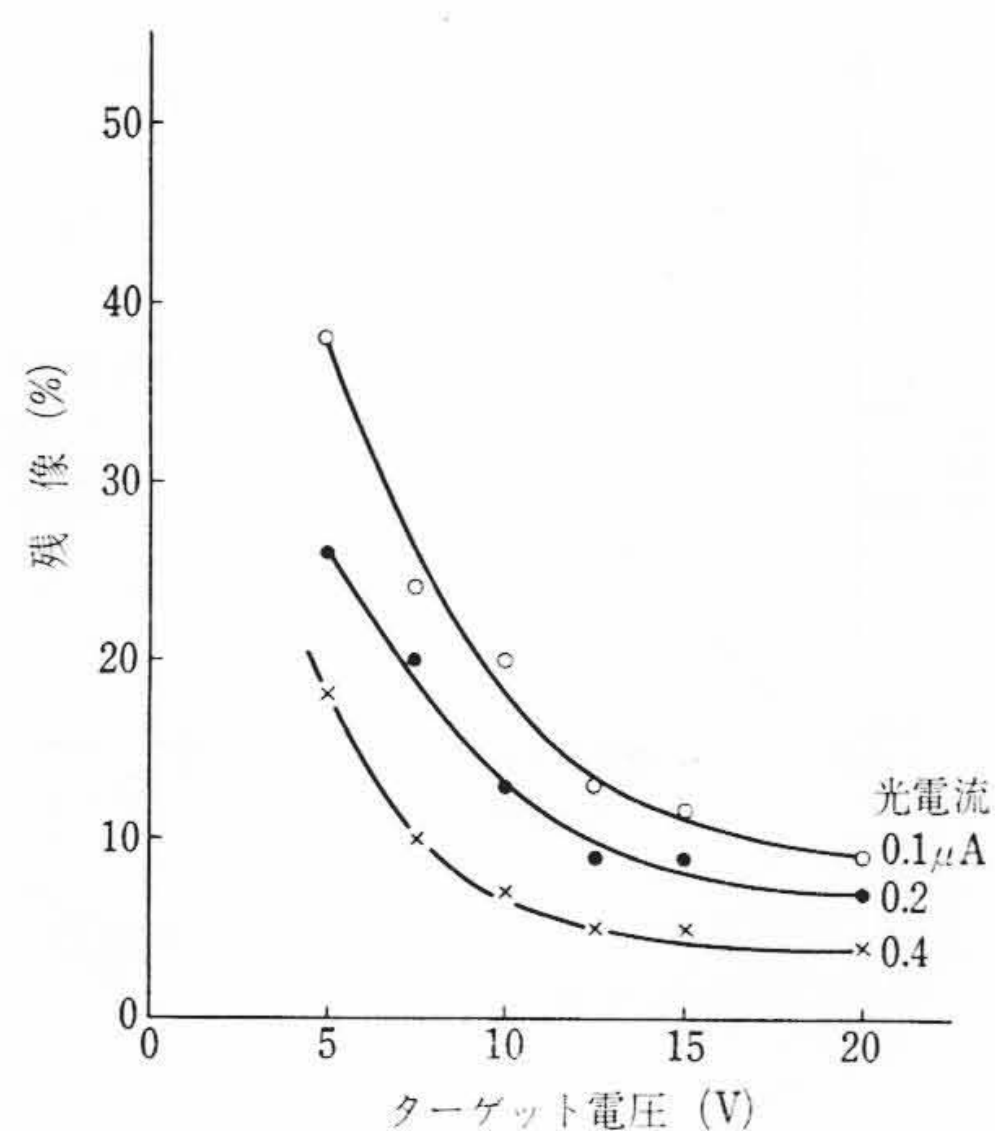


図10 シリコンターゲットビジコンの残像依存性の例

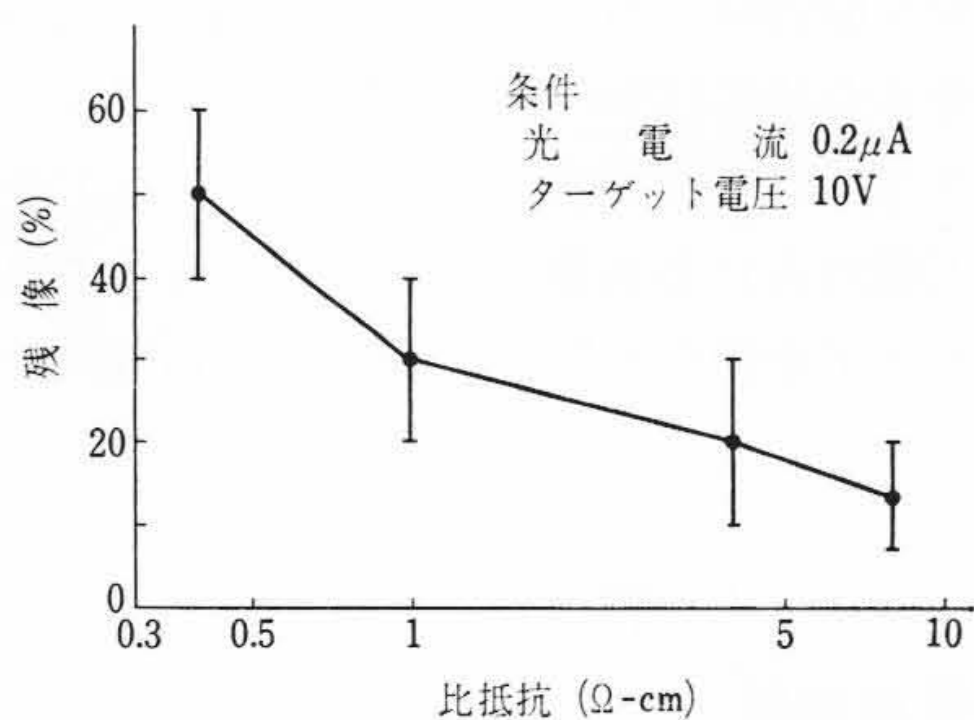


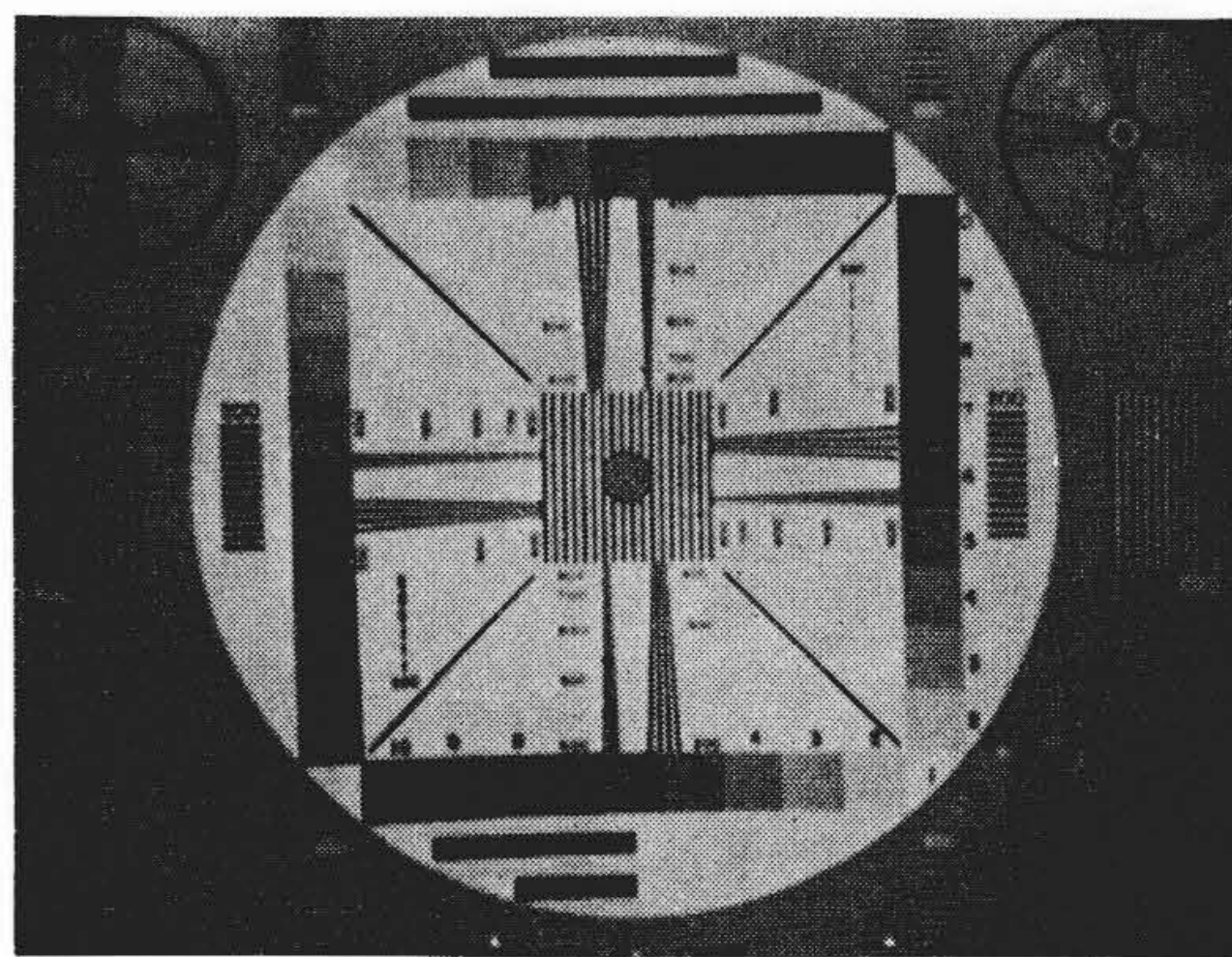
図11 シリコンターゲット基板比抵抗と残像(50 ms)の関係

感度はターゲット電圧 10V, 面照度 0.5 lx で光電流 0.25~0.35 μ A が普通である。

分光感度の最大値は図9に示したように 600~700 μ m にあり、絶対感度は、500 μ m で約 0.2 μ A/ μ W 程度である。そのため特にタングステン電球で照明した場合には、赤色ないし近赤外域で感度が高くなり、人物などの被写体が不自然に見えることがある。したがって、通常の用途では赤外カットの光学フィルタを利用することが望ましい。

4.3 残像と焼付け

残像はターゲット電圧を上げると減少するが、通常 10~15V 以上になると安定した値を示す。その例が図10である。入射光量すな



(a) テストパターン



(b) 人物

図12 シリコンターゲットビジコンによる画像

わち光電流が増すと残像が低下するのは通常のビジコンと同傾向である。

残像の値は基板結晶の比抵抗で比較的容易に制御できる。図11はその例である。テレビ電話用ではけい光灯のフリッカの関係で残像値を極端に小さく(5%以下)することは望ましいことではない。したがって H8358 では残像値は従来のビジコンと同程度の範囲に押えている。

焼付けがないということは STV の大きな特徴の一つである。強い入射光が長時間ターゲットに入射するなどかなりきびしい条件のもとでも、いわゆる焼付け現象が発生することはなく、またラスト焼付けもほとんど観測ができない程度である。

4.4 解像度と画質

限界解像度は表1の条件で動作した場合、中心で 500~550 TV 本である。この値は 10 μ m ピッチのダイオード配列から期待される値よりも小さく、まだターゲットおよび電子銃の両面から改良を図る余地が残っている。

ターゲット欠陥としては、高いコントラストの白きずはなくなっているが、まだ低コントラストの白あるいは黒きずが完全には取りきれていない。したがって画質上ではまだ放送用のビジコンのそれと比較すると見劣りする点がある。図12に示したのは、H8358 で撮像した解像度パターンおよび人物の写真である。

4.5 温度特性と寿命

STV は本質的にはシリコン・デバイスであるので、それと共通の温度特性を示すはずである。そのなかでも重要なのは暗電流と温度の関係である。図13に示したのはその測定結果の一例である。室温で 5 nA 近傍の暗電流が 50°C (面板温度) では 20 nA に増加する。この増加を防止するためには実用上は低電力ヒータの電子銃の採用が有効であり、これは同時にヒータからの漏えい光による暗電流の見かけ上の増加をも同時に押えることになる。

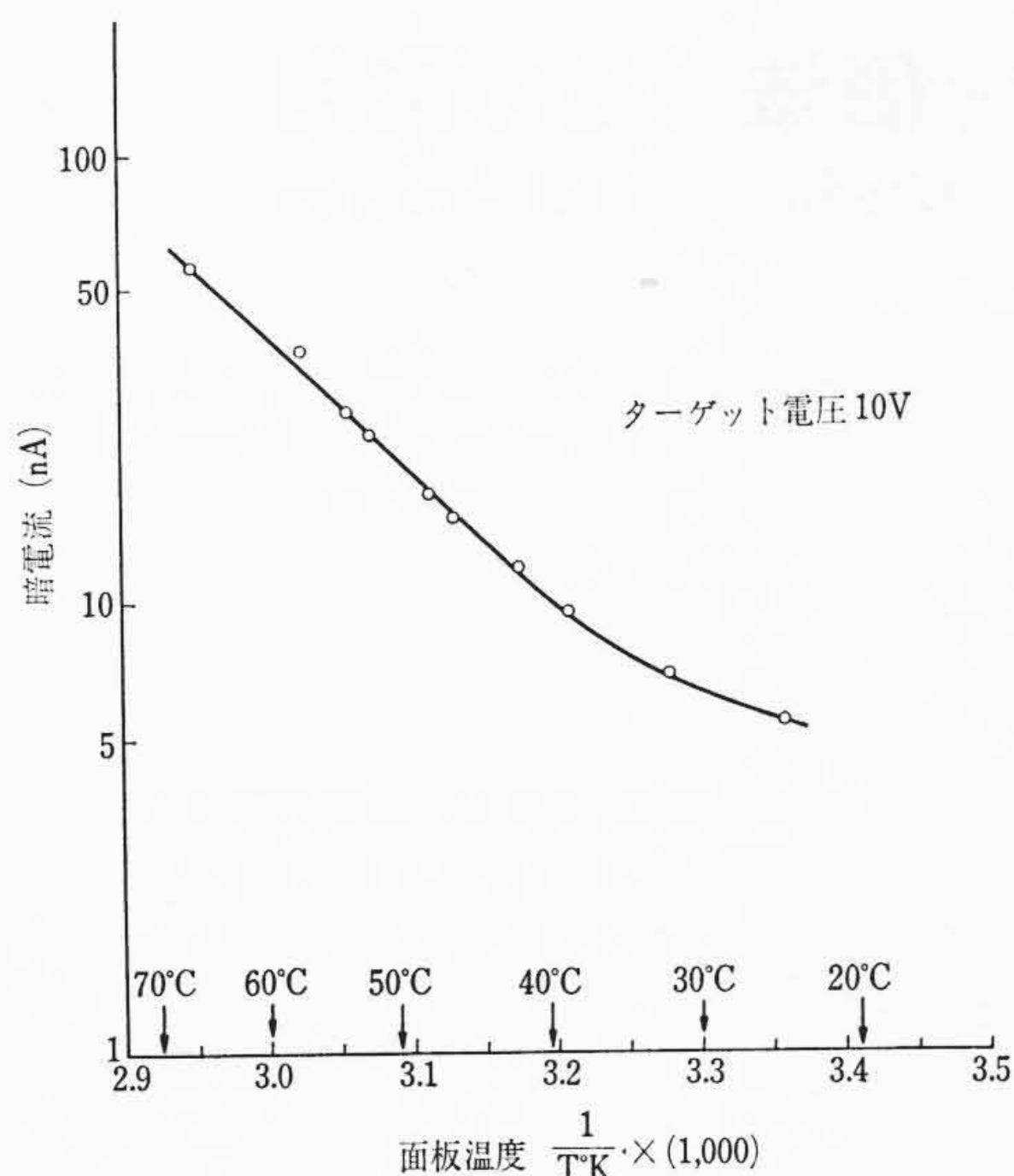


図 13 シリコンターゲットビジコンの暗電流の温度依存性の例

開発当初は STV のターゲット自体の寿命は半永久的なものと考えられていたが、電子ビーム射突により電極から発生する軟 X 線⁽⁴⁾で SiO₂ が損傷を受けて暗電流が増加する現象が寿命を制限することが判明してきた。そのため電極電圧の高い高解像度動作の条件で、STV を長時間使用することは困難な状態にある。したがって解像度の点で若干不利にはなるが、低い電圧条件で使用するのが通例となっている。たとえば表 1 に示した条件では、2,000 時間以上の寿命試験でも暗電流の変化は認められない。なお上記した X 線の影響は、SiO₂ の製作条件によっても大きく変化するので、将来は抵抗層の材料の選択ともあわせて、高電圧動作下での長寿命化を達成することが可能になるであろう。現在は前述のように三硫化アンチモンの層を蒸着しているためターゲットを高温処理することができないので管球排気工程でじゅうぶんなガス出しができない点は通常のビジコンと同じであり、新しい抵抗層材料とか構造を検討する必要がある。

5. 今後の動向

シリコンターゲットビジコンは以上述べたように光や電子ビームによる焼付けがなく、しかも高感度であるし光以外の X 線、電子線その他粒子線に対しても感度が高く、PN 接合を使用したものの特徴として暗電流が少なく、したがってターゲット自身が信号の保持力を持っていることなどから、これらの観察に用いることもできる。

また γ 特性が 1 に近く、赤ないし近赤外に高い感度を示すので低照度下での利用など広い範囲に使用されると思われるが、今後検討を要する問題点も幾つか残されている。

まず解像度の問題であるが、シリコンターゲットビジコンの解像度は一般のビジコンに比較してやや劣っているのが現状である。解像度はおもにシリコンターゲットの構造によって左右され、特にダイオードピッチおよび厚さが重要な要因である。次に分光感度の問題があげられる。さきに述べたとおり、シリコンターゲットビジコンの分光感度特性は視感度特性に対してかなり赤外よりにかたよっているため、人物像などの場合には不自然な感じを受ける。さきの研試 44H 形テレビ電話機ではレンズののぞき窓にあたる部分に赤外カットフィルタを組み込んで感度補正をしているが、将来は赤外カットフィルタをビジコン面板として組み込むことも考えられる。またシリコンターゲット自体は長寿命と考えられるが、 γ が 1 に近いこと、ターゲット自身が強い光まで扱えることから、これにじゅうぶんな量の電子ビームを供給することができ、高解像度を維持する電極系と高いカソード負荷に耐え長寿命のカソードの採用、さらにシリコンの対熱性を生かすターゲットの実装法の検討とあいまって撮像管としての高信頼化、長寿命化を図る必要がある。

きずの点は生産上の最大の問題として今後残る大きな問題である。前にも述べたように未解決の問題、現象が多々あり半導体技術と管球技術の総合によって解決を図らねばならない。

6. 結 言

テレビ電話用としてシリコンターゲットビジコンの開発を行ってきたが、テレビ電話用として必要な特性は、

- (1) 光に対する焼付がないこと
- (2) 電子ビームによる焼付がないこと
- (3) 高感度であること

が満足され、きずについても白きずはほぼ原因の追究も進み、実用上さしつかえない画質のものを作ることができるようになった。今後さらに解像度の点と製作歩どまりの向上によりテレビ電話のみならず、ITV をはじめとしていろいろな用途に適合したものを供給することができるであろう。

終わりに臨み本開発にご援助いただいた日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所池内調査役はじめ関係各位に深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 白木ほか：The 2nd Conference on "Solid State Devices" (昭 45.4)
- (2) 市川ほか：TV 学会全国大会 (昭 45.10)
- (3) 竹本ほか：TV 学会全国大会 (昭 45.10)
- (4) L. H. von Obsen, IEEE Journal of Solid-State Circuit, SC-5, 5, Oct. 1970