撮 像 デ バ イ ス と 表 面

畑 中 義 式

静岡大学 電子工学研究所 〒432 浜松市城北 3-5-1

(1985 年 1 月 14 日 受理)

Surface Problem in Imaging Devces

Yoshinori HATANAKA

Research Institute of Electronics, Shizuoka University
3-5-1, Johoku, Hamamatsu, 432.

(Received January 14, 1985)

Imaging devices in the invisible light regions of ultraviolet, infrared and low light level are described and discussed, considering, in particular, the surface problems of photoconductive material. In the MIS blocking junction of a photoconductive target for an ultraviolet vidicon, a thin insulating film of MgF_2 on a a-Se photoconductor and Si_3N_4 on a-Si:H are shown to produce interfacial fields increasing sensitivity in short wave length region. In an infrared vidicon with a PbO-S target, it is shown that PbS, which forms a thin surface layer on the textured PbO crystals, plays an important role and brings infrared sensitivity and resistivity sufficiently close to vidicon operation. For low light level use, SiO_2 -Si interface problems of a silicon intensifier target are described, and new type target with a hydrogenated amorphous silicon to crystalline silicon heterojunction is presented and discussed.

1. はじめに

人間は5感といわれる感覚器をもつが、この中で視覚に相当する機能をもつ撮像デバイスは最も多様化し、範囲が拡大した分野であり、人間生活の中へ、工業技術の中へ、あるいは医学、天文の分野へも及んでいる。科学技術の進展にともない、人間の視覚機能範囲にない可視光以外の波長の光、及び知覚レベル以下の少い光量の光の画像情報をも必要とされるようになった。このような要求に対して、光のエネルギーに適する物質をもって光電変換させ、それを画像化する種々の光電変換デバイスが開発され、可視光以外のきわめて広い範囲の領域の画像情報を知ることが出来るようになってきている。

撮像デバイスのうち可視光情報は人間生活にとって一番重要であり、多くの種類の撮像デバイスが作られてきている。一方、不可視情報は人間の目の能力を越えたものを可視化するものであり、これはまた科学技術にとってきわめて重要である。ここでは特に表面との強い係わりのある不可視情報を取り扱う撮像デバイスについて取りあげる。また最近研究発展の著しいアモルファスシリ

コン (a-Si) について関連した表面の効果にふれ、撮像デバイスと表面の接点をさぐってみたいと思う。

2. 撮像デバイス

電子的撮像デバイスを大きく類別すると、撮像管、固体撮像板、ポイントセンサーと機械的走査の組合せを用いるもの等がある。最近の固体撮像板の開発は目ざましくホームビデオカメラ用や、計測用カメラに用いられるようになってきた。固体撮像板は集積回路技術におけるアナログ信号を取扱い高度な技術の集積であって、基板 Si の結晶性及び集積化プロセスでの素子間のバラツキ制限が非常に厳しく、実用に際しメモリ LSI に比して格段の困難性をもっていた。これら困難性にもかかわらず実用の域へ達し得たのは Si と SiO_2 界面の素性の良さがあったからであり、Si を用いていたから実現し得たものである。集積回路技術はその性質上歩留りが良く、又大量生産とそれに見合う需要のある分野でないとなり立たない。従って将来は可視光領域においてロボットの目としての小型、軽便なイメージセンサーとしての地位を確立してゆくものと考えられる。

Fig. 1 Construction of photoconductive type camera tube.

ポイントセンサーと光学系の機械的走査を組合せたものは、センサー自身にかかわる制約が少なく、他の方式をもって実現出来ないような遠近外線のイメージセンサーに使われている。この種のもは常温（体温）付近の温度のサーマルイメージング等計測用に使われ、医学用、計測用の精度の高い測定に主として用いられる。センサーは極低温に冷却することを要し、また機械的走査系を有するために、移動用モニタリング等、振動が多く冷却設備を持たないところでの利用に難点がある。

撮像管は純電子的撮像デバイスであり画像入力装置として長い歴史を持っている。光電変換部分が光電変換と画像の蓄積の2つの役割をもっており、変換蓄積された電気信号を電子ビームを使って時系列信号として読み出すものである。光電変換部分は大きく分けて光電子放出形と光導電形に分けられるが、解像度の良さ、取扱いの簡便さのために現在主として光導電形が用いられている。

Fig. 1 に光導電形の撮像管の構成を示す。光導電形は目的とする波長域に適する感度を有する光導電膜をターゲットに使い、光電変換された電荷を電子ビームで2次元的に読み取るという構成のため、光電変換部分の構造もきわめて簡単である。したがってターゲット部分に種々の波長域に適合した半導体を取り付けることにより目的の分光特性を持ったイメージセンサーを実現出来る。大量需用が見込めず特殊な半導体が必要とする不可視光領域では撮像管が適しているのである。撮像管は電子ビーム走査を用いるために、画像の図形歪等の問題が生じ、この点において固体撮像板の優位性があげられる。しかしビーム系を用いることは、解像度をビーム径の微少化により高くすることが出来、特に解像度の高い高画質なテレビ入力装置*とか不可視光領域のイメージセンサーとしてその地位を保ってゆくものと思われる。

光導電形撮像管の場合目的に合った禁止帯幅を持つ半導体をターゲットとして用れば良いのであるが、しかし光電変換と蓄積作用を同時に満足させるまでには厳しい条件が必要となる¹⁾。即ち、

- (1) 暗抵抗が $10^{13}\Omega\text{cm}$ 以上であること

- (2) 正孔のキャリアレンジが大きいこと
- (3) 拡散長が短いこと
- (4) 光感度が高いこと
- (5) 強い光で焼付がないこと、丈夫であること
- (6) 光の吸収が良好であること
- (7) 誘電率が小さいこと

等である。 $10^{13}\Omega\text{cm}$ 以上の暗抵抗を常温で実現しようとするとき、真性の状態で禁止帯幅が大略 1.7 eV と見積られ²⁾、これは波長にして 730 nm である。これよりも、波長の長い赤外域に感度を有するものを作成する場合には接合構造とか界面に特別な工夫をして、全体として $10^{13}\Omega\text{cm}$ の暗抵抗を実現するようにしなければならない。しかし、長波長域に感度を有する狭い禁止帯幅の半導体は抵抗値の高いものが得難く、又、撮像管形のものには冷却も困難等のために遠赤外域ではポイントセンサーが利用されている。一方紫外線領域では吸収がきわめて強く、半導体表面近傍で光キャリアの生成が支配的となり、界面での再結合も強く起るので半導体界面の電界を制御し適正化しないと紫外の良好な感度が得られない。

以上撮像デバイスをきく分類して、それぞれの地位と将来性を展望した。これらのうち、撮像管における不可視光領域のイメージセンサーとしての役割は重要であり、これについて特に半導体表面との強い係りを持つ点について注目して取り上げたいと思う。

3. 撮像デバイスと表面

3.1 紫外線用ビジコン

紫外線は物質の価電子との相互作用が強く、吸収が大きいことから光化学反応とか表面状態検査に利用されている。生体系の細胞の非染色検査、物に付着した指紋の検査、最近では精密加工用のリソグラフィーのモニター、紫外レーザー、紫外光化学反応のモニターとして必要性が高まっている。

光電子放出を利用した撮像管も作られていて感度の点では秀れているが価格、取扱いの簡便さ、解像度の点では光導電形のもがよく、光導電形の紫外線用ビジコンへの要望がある。現在、可視用に作られた光導電形撮像管の入射窓面板を石英に置き替えて使用している例が多いが 350 nm 以下の波長域では、入射光の面板界面近傍での吸収が支配的となり界面近傍での電界のかかり方が特性に主要な影響を与える。

これらの点を考慮してこれまでに a-SeAs のターゲットをもつ紫外線用ビジコンが作られた³⁻⁵⁾。そのターゲット構造の一例を Fig. 2 に示す⁶⁾。紫外線用とするために入射窓面板には熔融石英板が使われ、170 nm まで

* NHK で研究開発が進められている高品位テレビに類するもの。

Fig. 2 Cross sectional illustration of visicon target for ultraviolet use.

Fig. 3 Transmission Characteristics of transparent electrode, SnO_2 . (a) is for fused quartz, and (b) for SnO_2 deposited on fused quartz.

の透過が可能である。透明導電膜に SnO_2 を用いると SnO_2 のバンドギャップが約 3.5 eV であり 300 nm 以下の短い波長域で吸収が多くなる。画像信号読み取り用電極として使用出来る数 $\text{k}\Omega/\text{口}$ の面抵抗を持つもので波長が 240 nm に対してで約 60% の透過率となる (Fig. 3)。透明導電膜としてはその他 Al , Pt の極く薄い膜を使用出来るが 250 nm 以上の波長域では SnO_2 が秀れている。 Si , Cr , Mo 等の反応により生ずる数 10 nm のシリサイド膜も短波長域で透明電極として利用出来るかも知れない。研究が待たれるところである⁷⁾。

光入射側の電極と半導体界面には通常再結合中心になりうる欠陥が多くあり、界面近傍で発生した電子正孔対は、分離して半導体中を輸送されなければ光導電電流となり得ない。従ってこの電子正孔対の分離輸送過程が半導体界面での電界のかかり方に強く依存する。電極界面での電界の発生は仕事函数の違いによる他に、界面での局在準位の位置に強い関係を持っている。撮像管では電子ビームを用いるために、電極側を正とし、電子走査側を負として動作させる。従って阻止形として動作させるためには、透明電極側、すなわち光入射側の電極と半導体との界面に正孔に対する阻止障壁を形成すること及び電子ビーム走査側では電子に対する阻止層が形成されなければならない。アモルファス Se は SnO_2 との間に正孔に対する強い障壁を形成する。しかし a-Si は常温でさえ結晶化が進み使用出来なくなるため結晶化の進ま

Fig. 4 Dependence of spectral sensitivity on the junction interface between transparent electrode, SnO_2 and a-Si:H , when the positive voltage applied on the SnO_2 electrode, (a) and the negative voltage applied on it (b).

ない As_2Se_3 を数 μm 程度積層し Se 層は接合のごく近傍の $100\text{ \AA}$ 程度にとどめられている。 As_2Se_3 はP型半導体であるために Se 層より注入された正孔は容易に輸送される。 SnO_2 と Se 層との間に $100\sim 200\text{ \AA}$ 程度の MgF_2 の薄膜を挿入することにより、正孔に対する阻止特性を改善し⁸⁾、かつ界面に強い電界が生じて、紫外域の特性を改善することが出来る。

a-Si:H 膜の研究が最近活発に行なわれているが、 a-Si:H 膜をイメージングデバイスとして用いるとき、特に青色から紫外域における分光特性に強く影響を与える電極界面での電界の発生原因及びその理由についてはよく分っていない。

Fig. 4 は SnO_2 透明電極上に a-Si:H 膜を堆積させ、透明電極側から光を入射したときの分光特性である。(a)は透明電極を負としたときであり、(b)は正としたときである。この二つの特性より界面における接合特性を推察出来る。即ち(a)では界面近傍で生成した電子が膜中を走行するように界面電界と印加電界は加え合せられてキャリアの分離を良くするのに対して、(b)では界面発生電界と印加電界が逆方向となり界面での電界が弱まり、不感領域が生じた短波長域の光電流が少くなるものと解される。 SnO_2 の界面でなぜこのような電界の発生が生ずるかについて検討するために次のような実験を行った⁸⁾。

Fig. 5 は SnO_2 上に SiO_2 又は CeO_2 を真空蒸着により約 $100\text{ \AA}$ つけたものと、 SnO_2 上にグロー放電法による堆積で SixNy を約 $200\text{ \AA}$ 付けたものを用意し、その界面における a-Si:H 膜の接合特性を調べるための実験素子の断面図である。 SiO_2 と CeO_2 は同じ酸化物であり SiO_2 について行った例を以下に示す。各試料に対してグロー放電法により、ほぼ i 型 a-Si:H を $1\mu\text{m}$ 程度堆積し、反対電極側をそれぞれ P^+ 型 a-Si:H か又は n^+ 型 a-Si:H を堆積した後 Al 電極を真空蒸着

Fig. 5 Cross sectional illustration of experimental samples. (a) and (b) are for the purpose studying interface between oxide material and a-Si: H. (c) and (d) are for nitride material and a-Si: H..

Fig. 6 I-V characteristics of the samples presented in Fig. 6. ⊕ or ⊖ sign presents the sign of voltage applied on SnO₂ electrode.

した。Fig. 5 の 4 通りの素子について電流電圧特性を測定したところ Fig. 6 のごとくとなった。Fig. 6 の (a)~(d)は Fig. 5 に示した素子の種類に対応したものである。(b)と(c)に整流性があらわれており、電圧電流の素子に対する印加関係は逆転している。(b)では

透明電極 (SnO₂) から電子の注入が、Al 電極から正孔の注入が阻止される。(c)では透明電極から正孔の注入が阻止され、Al 電極から電子の注入が阻止される。(b)と(c)では丁度極性が逆転していることになる。

SiO₂ (b)では界面が負に帯電し、Si_xN_y (c)では正に帯電するものと考えられる。丁度これと同じように SnO₂ 及び ITO では a-Si: H との界面で同じ現象により電界が発生するものと解せられる。撮像管では透明電極を正にバイアスするために正孔に対する阻止構造を持つようにすることが大切である。従って酸化物よりも電子親和度の低い窒化物の薄い膜によって阻止特性を持たせることが良いと考えられる。

3.2 赤外線用ビジコン

赤外線はエネルギーが小さく、禁制帯幅の小さい半導体を用いなければならないことと、物質の格子振動との相互作用の強い領域にあることから、赤外線用ビジコンに用いる半導体と窓材の選択の適正化が必要である。

撮像管用ターゲットにおいては 2 次元的画像情報を時系列信号とするためにターゲット上で一枚の画像分の信号を送るのに必要な時間だけ信号を保持しなければならないので、前述のターゲット材料としての厳しい条件が要求される。赤外用半導体では特に 10¹³ ncm 以上の高い暗比抵抗をするという条件を満足することが困難となる。PbS についてみると比抵抗は 10²~10³ ncm 程度でありとてもターゲット材料となり得ない。(100°K に冷却して 10¹² ncm とすることも出来るが、撮像管を極低温に冷却することはきわめて難しい。)

第 2 次大戦中ドイツで暗視用の光導電層の研究が多く行なわれていた。K. Frank⁹⁾らによって報告された方法を参考にして、西田^{10,11)}は実験を重ね、実用化に成功した。この方法について以下に述べる。

PbO を 6×10⁻³ torr の Ar 雰囲気中で蒸着し、次いでこれを 60°~70° に保持しながら硫黄の蒸気に作用させ、PbO 微結晶の粒界へ S を拡散させる。さらに 230°C 程度で 2~3 分熱処理を行い PbO の一部を PbS に変

Fig. 7 Target illustration of infrared-use-vidicon.

Fig. 8 Dependence of resistivity of PbO-S on sulfur volume¹¹⁾

Fig. 9 Target current vs target voltage of IR visicon¹¹⁾

換させたものでターゲットを構成する。Fig. 7 に模式的に示したように PbO の表面から S が反応し表面層が PbS となっているものと考えられる。即ち化学変化は、

この反応式によれば 200 mg の PbO に対して、S の量は 43 mg である。しかし Fig. 8 に示すごとく抵抗率を $10^{11} \sim 10^{12} \Omega \text{cm}$ とするためには 4~6 mg で充分であり反応式で示される量の 9~14% であって PbS と PbO の比は 1:6 となる。従って光導電層は PbO 結晶の 6 分の 1 の表面層が PbS となって赤外線に対する感度をもつことになる。赤外線感度は硫化が進むほど強くなるが、抵抗率が低くなりすぎるため、主として抵抗の許容の限度から硫化は止められている。Fig. 9 はターゲット電圧に対する信号電流の特性を示す。この特性は注入形の光導電特性を示している。PbS 層で生じた光電流は PbO 層へ電荷の注入が起るのでなく PbO 微結晶表

面に生成した PbS 表面層を流れているものと考えられる。このターゲットの分光感度領域は $2.4 \mu\text{m}$ までのびている。

以上この赤外用ビジコンターゲットは本来の PbS では抵抗値が低すぎるために、表面層のみ PbS として、撮像管に要求される抵抗値を得るようにしたもので、非冷却で使用出来る。又、近赤外領域では硬質ガラス窓面板と SnO_2 透明電極が使用出来、かつガラス光学レンズも使用出来るために、通常の ITV カメラの撮像管のみ交換すれば使用可能となる。他の主な応用例としては 200°C 以上の温度の非接触計測、赤外レーザーのモニター、赤外の通信用光ファイバーの検査、半導体 Si, GaAs 等のウェハー欠陥検査、古い文物の赤外線透視、等がある。

3.3 低照度域撮像デバイス

電子増倍機能を有しない光導電形のデバイスの感度は今までのところ肉眼の暗視能力を凌駕するには至っていない。低照度撮像デバイスとしては光電子放出による電子を加速してターゲットに衝突させることにより増倍機能を持たせたものがある。その中で現在最も秀れたものは、シリコン単結晶をターゲットとした SIT¹²⁾ (Silicon Intensifier Target) 又は EBS¹³⁾¹⁴⁾ (Electron Bombardment Silicon) である。この管の構造は例えば Fig. 10 に示す。光学レンズの光像は光ファイバプレート上に結像される。光ファイバプレートの内面に光電面が形成されており、光電面からの光電子は加速されて、電子レンズ系によってシリコンターゲット上に結像される。シリコンターゲットは n 形単結晶の電子ビーム走査側に p 型の島が無数につけられている。この島は直径が $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 、ピッチは $15 \mu\text{m}$ 程度である。加速された電子が単結晶中に衝撃される時、数千~1万程度の増倍効果をもっている。増倍生成された電荷 (正孔) は p 型島に集められ蓄えられて、電子ビーム走査によって信号出力として読み出される。ターゲットの詳細図を Fig. 11 に示す。

シリコンターゲットは n 型 Si を熱酸化膜 SiO_2 で全体を覆い、 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ の無数の穴をあけそこにホウ素

Fig. 10 Cross sectional configuration of low light level camera tube, SIT.

Fig. 11 Detailed illustration of silicon target.

Fig. 12 Dependence of increments of dark current on the operating time. Parameters are thickness of a-Si resistive sea¹⁶⁾.

(B)の不純物拡散を行いp型の島を作ったものである。この p-n 接合は SiO₂ の界面で終端される構造となっているため接合空乏層は SiO₂ と接することになる。従って動作状態で流れる暗電流は接合中に存在する欠陥に左右されるので、主としてこの SiO₂ との界面における欠陥がその主なものとなる。通常 SiO₂ と Si との境界面に生ずる欠陥は Si の未結合手によるもので、これはギャップ中心近傍に欠陥準位を形成し、発生再結合中心となる。これを取除くために水素中で処理をすることにより水素で終端され、欠陥を不活性化することが出来る。この水素処理により暗電流を著しく低くすることが出来、MOS 型デバイスにおいても同様な理由からこの処理が行なわれる。

結晶 Si(c-Si) と SiO₂ との界面では Si-O 結合と、水素処理で導入された Si-H 結合が隣接して存在する。このような場合光、又は軟X線の照射により Si-H 結合が切れ O-H 結合が作られる結果¹⁵⁾、再び Si の未結合手が現われて、暗電流が増大することとなる。Fig. 12 はシリコンターゲットが、軟X線のための暗電流が増加する様子を示している¹⁶⁾。撮像管では電子ビームがターゲット直前のメッシュに衝突することにより軟X線が発

生ずる。この軟X線がターゲット上に照射されることになる。通常電子ビームのランディングを良くするために使われる半絶縁性のレジスティブシー (R-S) 膜が軟X線を防ぐ役目をする。Fig. 12 では a-Si を R-S 膜として用い、パラメーターはその膜厚である。R-S 層を厚くすることにより軟X線からの防御が十分となる。

最近 a-Si:H 膜において光劣化現象として Steabler-Wronski 効果 (S-W 効果)¹⁷⁾が問題となっておりその原因が究明が急がれている。その原因の一つとして a-Si:H 中にある Si-O 結合と Si-H 結合が光照射により OH 結合を生じ、その結果 Si の未結合手が発生して、欠陥を増加させる現象だとの解釈がある。これによれば、シリコンターゲットに係る問題と同じである。

SiO₂ で絶縁隔離された p 型島のダイオードアレーを持たないで、単結晶 Si(c-Si) の上に直接 a-Si:H を堆積させ、その両者で形成されるヘテロ接合¹⁸⁾⁻¹⁹⁾を利用したターゲットに関する実験がある。Fig. 13 にそのエネルギーバンド図を示した。このバンド図は予想されるもので現在確定しているものではない。c-Si のバンドギャップは 1.1 eV であり a-Si:H は約 1.8 eV であるから、両者の接合により c-Si 側からキャリアを注入しようとする場合、特別にフェルミ準位の制御をしなければならない。シリコンターゲットとして利用するには n 型 c-Si に p 型の a-Si:H を堆積し、c-Si からの正孔の注入が a-Si:H 側に支障なく行なわれるためには、接合部で正孔に対する障壁が出来ようであってならない。このヘテロ接合については研究が始められたばかりであり未だ不明の部分が多いが、これは結晶質と非晶質の接合界面の問題であり、MOS デバイスにおける Si

Fig. 13 Band diagrams of crystalline silicon-hydrogenated amorphous silicon heterojunction.

Fig. 14 Configuration of experimental samples.

Fig. 15 I-V characteristics of the samples presented in Fig. 17

と SiO₂ 界面の問題と同様に基本的に重要な問題でもあると考えられる。以下にこの点に関する我々の実験結果について述べる。

Fig. 14 に実験に用いた c-Si と a-Si:H ヘテロ接合試料の構成図を示す。c-Si は n 型で比抵抗が約 10 Ωcm 、厚さ 200 μm で、#1 は不純物添加なしの a-Si:H、#2, 3 は p 型 a-Si:H (B₂H₆/SiH₄ = 6×10^{-4}) 40 nm と i 型 a-Si:H (B₂H₆/SiH₄ = 3×10^{-5}) 890 nm からなっている。#3 は c-Si を 10~15 μm に薄くエッチングされたものでシリコンターゲットとして使用出来る状態に準備されたものである。

Fig. 16 Dependence of capacitance on bias voltage. Solid signs are measured values and open signs are depression capacitance calculated.

Fig. 15 に電流電圧特性を示す。白熱標準電球 (色温度 2854 K) の光源 (100 lx) の照明による光電流 (○, △, □) と、これを IRDI フィルターにより可視光線の部分を除去したときの光電流 (□, △, ○) 及び暗状態での電流をそれぞれの試料について示す。光照射により発生した正孔は c-Si 側から a-Si:H 側に注入されることになるが #1 では注入が起らず正孔に対する障壁が出来ているものと解される。#2, 3 では良好な注入特性が得られている。c-Si が薄くエッチングされたものでは正孔は接合側から広がった空乏層に容易に流入出来るために光感度が増す。また、c-Si 層が薄くなると吸収係数の小さい赤外感度が減少するので可視と赤外の感度差が大きくてでいる。

Fig. 16 に接合静電容量の印加電圧に対する依存特性を示す。これからこの接合で生ずる空乏層に関する情報を得ることが出来る。100 kHz の交流を用いた容量変化は c-Si 側のみに空乏層変化があらわれることを示しており、図の直線の傾きから求められるキャリア濃度は c-Si のそれと一致するものであった。正孔の注入が良好に起るような #2, 3 の試料は空乏層の広がりも良好で、これは接合面に電界を吸収するに見合う電荷の存在出来る単位も少いことを意味している。界面単位のことに関してはさらに研究が進まないとい明確ではないが、a-Si:H の不純物添加の適正化によってキャリアの

注入の良好なものが作られ、かつ暗電流も割合に少く、実験管において撮像が可能であることが確められている。

ダイオードアレーを用いないで上記の方式で撮像管が出来れば低照度域の撮像においても解像度の向上と、ブルーミング* が少なく、ダイナミックレンジの大きいものを作ることが出来るものと考えられる。この場合 SiO_2 との界面の問題はなくなり、 a-Si:H を $2\sim 3\ \mu\text{m}$ と厚くすることにより軟X線の影響からも開放されることとなる。

4. おわりに

物性を研究し、バルクの物理的性格が明らかとなると、これを応用利用してデバイスを作りたいと考える。このとき必ず、いろいろの表面又は界面との問題に遭遇し、これがデバイスにとって大変重要な位置をしめており、その問題自身が、未だ物理的にもあまり明らかになっていないことに気付くのである。そこで表面の問題が非常に大切だと強調されだしたのはそれ程古いことではない。

撮像デバイスも取り上げてみると明確に分らないままデバイス作りがなされていた感がある。思考錯誤し経験的に探り当てた手法は、現在の新しい表面又は界面の問題として取り上げてみると良く理解出来るものがいくつかある。表面の問題は条件によって多様性が大きく、実験も難しいものも多いが、新しい表面科学の研究手法によって解明されることを期待したい。

この稿をまとめるに当り励ましと助言をいただいた島

岡五朗所長に謝意を表する。また紫外線ビジョン、赤外線ビジコンの研究に関して図面等の御提供をいただき、また助言も賜りました、浜松ホトニクス、西田亮三博士(静岡大学名誉教授)に、またシリコンターゲットに関し多大の御協力援助をいただいている浜松ホトニクス、河合敏昭氏に対し、深甚なる謝意を表する。

文 献

- 1) 西田：テレビ誌 **16**, 82 (1962).
- 2) 西田, 山田：テレビ誌 **20**, 155 (1966).
- 3) J. Wardley: Adv. E.E. Phys. **16**, 227 (1962).
- 4) 西田, 岡本：テレビ全大, **3-4** (1967).
- 5) 後藤, 設楽：テレビ誌 **21**, 21 (1967).
- 6) 西田, 岡本：静大電子工学研究所報告 **2**, 65 (1967).
- 7) K. Seki et al, Appl. Phys. Lett. **44**, 682 (1984).
- 8) 畑中, 曾：テレビ全大 **2-7** (1983).
- 9) K. Frank et al.: Zs. Phys. **126**, 377 (1949).
- 10) 堀井, 西田, 岡本：テレビ誌 **13**, 530 (1959).
- 11) 西田：学位論文 (大阪大学) (1962)
- 12) R.L. Rogers III, et al: ISSCC Dig. Tech. Papers, 176 (1970).
- 13) S. Miyashiro et al: Proc. IEEE **57**, 2080 (1969).
- 14) D. Green et al: Paper presented at IEEE Int. Electron Device Meeting, (Oct., 1969)
- 15) L. H. von Ohlsen: IEEE J. Solid State Circuits **sc-5**, 261 (1970)
- 16) H. Mimura et al.: Jpn. J. Appl. Phys. **24** No. 2 (1985) in print.
- 17) D.L. Steabler et al: Appl. Phys. Lett. **31**, 292 (1977).
- 18) H. Matsuura et al: J. Appl. Phys. **55**, 1012 (1984).
- 19) H. Mimura et al: Appl. Phys. Lett. **45**, 452 (1984).

* 強い光によってその強い光の周囲が白く花が咲いたようになる現象で、単結晶 Si を用いたものではこの傾向が強く現われる。