



UDC 621.3.032.2 : 621.397.6

テレビのシャドウマスクの機能とその材料

福 沢 憲 一*・高 井 明*

The Function and the Material of the Shadow-Mask for a Color Picture Tube

Kenichi FUKUZAWA and Akira TAKAI

シャドウマスク形カラーブラウン管は米国 RCA 社により開発、製品化が行われた。そして現在のカラーブラウン管のほとんどはこの原理に基づくものである。国内では昭和 32 年より NHK の指導のもとに関係電子管、部品メーカーが委員会を組織し、シャドウマスク形カラーブラウン管の国産化を進めた。当初は部品を輸入することから始めた。この当時のシャドウマスクは銅合金製であつたが、実際の量産化は鋼板で行われた。昭和 39 年頃にはカラーブラウン管の総合性能も実用レベルに達し、飛躍的な発展へと進んできた。以来、特性、量産性も着実に進歩して来たが、この間、視覚の対象となるけい光面、ひいてはシャドウマスク品質の進歩は著しい。現時点では、カラーブラウン管、シャドウマスク、シャドウマスク用鋼板などいずれも世界のトップレベルに達している。本稿ではカラーブラウン管の構造、シャドウマスクの機能を紹介し、シャドウマスク材料の特徴を述べる。シャドウマスクの組立体はいくつかの部品により構成されているが、ここでは、色選別電極として機能し、材料的に特徴のある球面有孔部についてのみ述べることにする。

1. カラーブラウン管の構造

図 1 は代表的シャドウマスク形カラーブラウン管の断面図である。カラーブラウン管は図 1 からわかるように、真空管を形成するガラスバルブのフェースプレート部（パネル）に赤、緑、青の 3 原色を発光するけい光膜が塗布されており、一方ネック部にはけい光膜を刺激発光させるための電子ビームを発射する電子銃を備えている。電子ビームは全画面をおおうように電磁界によつて偏向走査され、映像を再現している。けい光面と電子銃との間には、けい光面に近い位置にシャドウマスクが設けられており、電子銃から発する 3 原色に対応する 3 本の電子ビームを、各々対応するけい光体のみ当たるような色選別の機能を果たしている。この他、カラーブラ

ウン管には色純度の高い画像を得るために、不要な電子ビームがバルブとシャドウマスクの間からけい光面に回り込むのを防止するエレクトロンシールド、地磁気等の外部磁界によつて電子ビームの軌道が影響を受けることを防ぐための磁気シールド等が組み込まれている。

2. シャドウマスクの機能

2.1 シャドウマスクの色選別機能

図 2 にシャドウマスクの色選別機能を具体的に示す。電子銃は 3 原色に対応した 3 本の電子ビームを発する。各々の電子ビームは独立に制御され、けい光体に当たり必要な輝度を得ている。

電子銃は S (5~9 mm) の間隔で一平面上に配列されている。このような配列の電子銃をインライン形の電子銃と称している。3 本の電子ビームはけい光面上で各々 1 点に集中するように調整されており、この調整が不十分であつた場合には画像に色ずれが生じる。けい光面は 3 原色、青、赤、緑色光を発するけい光体ストライプが等間隔になるよう規則的に配列されている。けい光体ストライプの間隔は超小形管 (6 形) の 0.15 mm から大

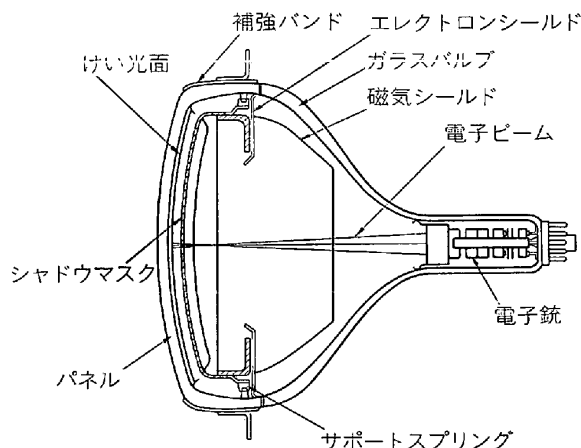


図 1 シャドウマスク形カラーブラウン管の断面図

昭和 55 年 6 月 19 日受付 (Received June 19, 1980) (依頼解説)

* (株)日立製作所茂原工場 (Mobara Works, Hitachi Ltd., 3300 Hayano Mobara 297)

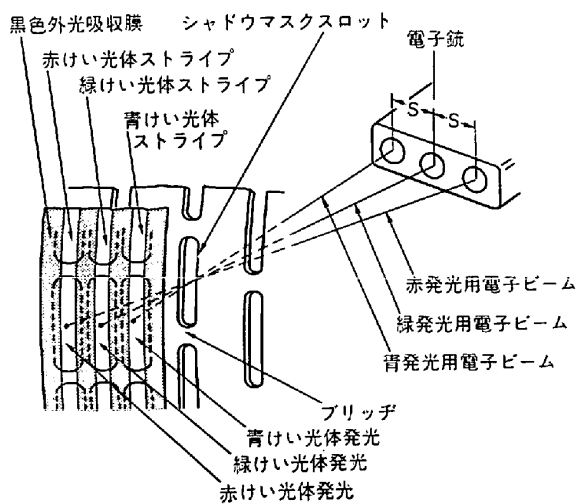


図 2 シェドウマスクの色選別機能

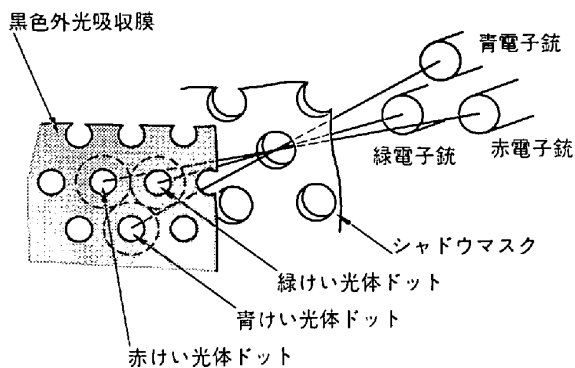


図 3 丸孔形シェドウマスクとけい光面

形管 (26 形) の 0.35 mm 程度まであり、映像を再現する時の画素ともなるものである。S だけ離れて発射された 3 本の電子ビームは、けい光面から 5~20 mm の位置に置かれたシェドウマスクのスロットを通過することにより、その視差によつてけい光面上で分離される。このようにしてシェドウマスクは色選別電極の役割を果たしている。図 2 は現在最も一般的なインライン電子銃、ストライプけい光面およびスロット形シェドウマスクを組み合わせた形式のものである。この他、図 3 に示すような△形に配列した電子銃、ドットけい光面および丸孔形シェドウマスクを組み合わせたものがある。丸孔形のシェドウマスクはカラーブラウン管の開発初期から使用されていた方式であり、現在でも高精細画面を要求されるディスプレイ管では使用されている。トリートロン管においては円筒形のけい光面、ブリッジのないシェドウマスクを組み合わせている。この場合のシェドウマスクは特にアパーチャグリルと称している。

2.2 シェドウマスクの熱膨張補正機能

先に述べたように、シェドウマスク・スロットを通過した電子ビームは、対応するけい光体ストライプを刺激・発光させるため、シェドウマスク・スロットとけい光体ストライプの位置関係が正確に合っている必要があ

る。シェドウマスクはけい光膜とともにカラーブラウン管の陽極となつている。シェドウマスクの電子ビーム透過率は約 20% であり、陽極での電力損失の 80% はシェドウマスクに入力される。20 形 (画面対角径 480 mm) カラーブラウン管における平均陽極電力は約 25 W で、シェドウマスクではこの中 20W が消費される。これにより約 40°C の温度上昇が起こり、シェドウマスクは 100 μ の膨張を生じる。このことにより、電子ビームとけい光体ストライプの一致が得られなくなる。シェドウマスクはこの熱膨張による電子ビームとけい光体ストライプの不一致を補正するように、その温度上昇とともにシェドウマスクを変位させる機能を持つている。

2.3 磁気シールド機能

電子ビーム軌道は磁界によつて偏向を受ける。カラーブラウン管においては、地磁気によつてもその軌道が変化し、けい光体ストライプとの一致が悪くなる。テレビセットを南北に向きを変えると、地磁気の水平成分の変化によつて、けい光面上の電子ビームスポットとけい光面ストライプとの位置関係がずれる。これは色純度の低下、色むらの原因になる。従つて、通常のカラーブラウン管では、電子ビームのドリフト空間を磁気シールドによつて外部磁気から遮蔽している。この結果、適切に磁気シールドされたカラーブラウン管においては、電子ビームスポットの南北変化量は 20~30 μ にまで抑えられている。この磁気シールドの効果についてもシェドウマスクがその一部をなし、重要な役割を果たしている。

2.4 製造工程中の着脱機能

カラーブラウン管のけい光面は、シェドウマスクをマスターパターンとして写真法で製作される。いわばシェドウマスクに現物合せでけい光面を作る。その製造工程中では 3 色のけい光体の塗布と露光をくり返し行う。従つて、シェドウマスクはパネルへの着脱が容易に行えることが必要である。しかもこの時のパネルとシェドウマスクの位置再現性は数 μ 以下の精度が要求される。この他、けい光体塗布、各種ベークン工程中で電子管部品としての清浄さを保つための表面処理、機械的精度を保つだけの強度確保、加工歪み除去が必要とされる。

3. シェドウマスクの構造

3.1 シェドウマスク

以下、スロット形シェドウマスクを例として代表的構造例を示す。写真 1 は 20 形シェドウマスクである。シェドウマスクの色選別機能は球面有孔部にある。この部分の詳細は図 4 に示すような構造をしている。シェドウマスク部は通常 0.10~0.18 mm 厚の軟鋼板が使用されており、図に示すような孔がけられている。孔の横ピッチは画面のきめ細かさを定めており、縦ピッチは電子ビーム走査線との干渉であるモアレ縞が発生しにくいように定められている。スロットの各寸法は公差 10 μ 内外

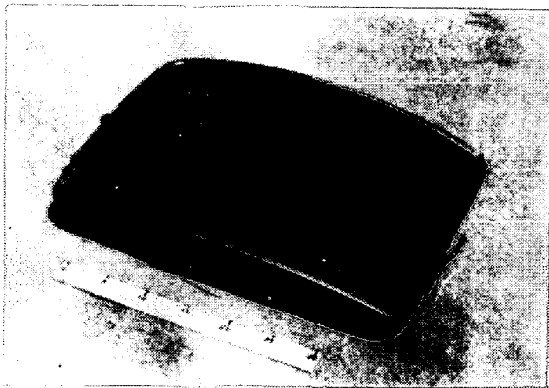


写真1 シャドウマスク組立体

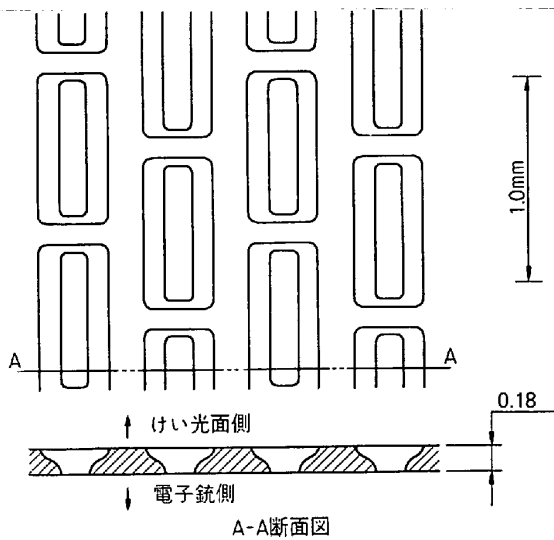


図4 シャドウマスクスロット部

が要求される。孔の形状はけい光面側が大きく開口し、電子銃側は小孔となつている。孔の断面形状は図4の下端に示すように電子銃側においてエッジをなしている。これにより電子ビームが孔の側壁に当たり不要な散乱をし、映像の色純度を低下させることを防止している。特に画面の隅部は、電子ビームがシャドウマスクに対して斜に入射するため、大孔側と小孔側をずらせて電子ビームが当たる側を大きく逃げるような設計も行われている。カラーブラウン管のけい光面は通常単一曲率をもつて球面に成形されている。(トリニオン管は円筒面)20形の例では曲率半径792mmである。従つて、シャドウマスクもほぼそれに沿う形で成形されている。実際にはけい光面ストライプが等間隔の配列となるように非球面形状を導入し、シャドウマスク形状の最適化を図つている。この曲面は設計上の形に対して ± 0.3 mm以下で一致するというような精度でプレス成形されている。このシャドウマスクを製造工程中、カラーブラウン管に組み込まれた動作中のいずれにおいても精度よく推持するため、 $0.8\sim 2.6$ mm厚の鋼板で構成されたサポートフレームに、スポット溶接によつて固定している。

3.2 シャドウマスクの表面処理

けい光面を写真法により製作する時、シャドウマスクを介して露光することは先にも述べたが、この時の光の散乱を防止するためにシャドウマスクは黒くする必要がある。また、カラーブラウン管動作中のシャドウマスク温度上昇を極力抑えるために、表面を黒くして熱輻射能を上げることが望ましい。さらに製造工程中において錆を発生させないための処理が必要である。シャドウマスクに赤錆が発生すると、これは微細な粒子となつて脱離し、ブラウン管の耐電圧特性を悪くしたり、真空度を悪くする原因となる。これらの点から、シャドウマスク、サポートフレームの表面にはマグネタイト (Fe_3O_4) の被覆を生成させている。

3.3 バイメタル・サポートスプリング

シャドウマスクをパネルの側壁に植えたピンに固定するために、サポートスプリングが使われている。また、シャドウマスクの熱膨張による電子ビームとけい光体ストライプとのずれを防止するために、パネルのピンとサポートスプリングの間にバイメタルを介して、補償を行っている。

4. シャドウマスク材

4.1 カラーブラウン管部品としてのシャドウマスク材

(1) ガス放出特性

シャドウマスク機能の説明からわかるように、シャドウマスクは 10^{-8} mmHgの真空中で使用され、しかも20Wの電力が入ることから、動作中の温度は局部的に $90^\circ C$ 程度まで上昇する。さらに電子ビームが直接表面を打つ。従つて、このような条件下でも有害なガスの放出があつてはならない。通常シャドウマスクの表面は酸化膜によつて保護されて、ガス放出特性は製造工程中の外部環境の影響を受けにくい状態で使用されている。通常使用されているシャドウマスク材のガス放出特性は $700^\circ C\sim 800^\circ C$ アニールの後、 $800^\circ C \times 3$ minのガス放出条件において、 10^{-2} の桁の下位の値を示す(単位: Torr·l/g)。排気時のベーキング、バリウムゲッターの効果によつて寿命期間中十分な真空度を保つている。

(2) 熱輻射能

動作中のシャドウマスクの温度上昇を抑えるためには、熱輻射特性が重要である。黒化した状態でのシャドウマスクの熱輻射特性は、赤外線に対する熱輻射能約0.85(孔なしの場合)で使用されている。この値は材料鋼板の性質に依存するよりむしろ黒化のプロセスによつている。

(3) 磁気特性

シャドウマスクは磁気シールドの役割も果たすことから透磁率の高いことが必要である。また、テレビセットの向きを変えたりした場合は、シャドウマスクの不要な磁化を容易に除去できるものでなければならない。通常

使用されているシャドウマスク材の比透磁率は数 1000, 保磁力は 1.1 エルステッド (10 エルステッド 反転磁気特性) 程度である。

(4) 電気抵抗

シャドウマスクはけい光面と共に陽極として働く, 従って導電体でなければならない。カラーブラウン管の陽極電流は瞬間的にも 15 mA 程度であり, 陽極電圧 25 kV に対して無視できる電位降下の発生なら問題はない。通常の鋼板の電気抵抗であれば十分に低く全く問題ない。さらにシャドウマスクの表面は酸化膜でおおわれているがこれも厚さ数 μ であり, 特に影響は考えなくてよい。

(5) 膨張率

先に述べたように, シャドウマスクの熱膨張は電子ビームとけい光面ストライプとの不一致となる。現行のシャドウマスク材料の線膨張率は $10.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度であるが, この値は必ずしも満足なものではない。問題点の一つである。

4.2 シャドウマスクの製造工程

シャドウマスクの製造工程は大きく分けて, シャドウマスク原板製造工程, シャドウマスクプレス工程である。図 5 にこのフローチャートを示す。シャドウマスク原板は板厚 0.10~0.18 mm の軟鋼板にフォトレジストを塗布, 乾燥し, 露光工程でシャドウマスクパターンをフォトレジスト膜に焼付けし, 次いで現像, パーニング (膜硬化) 工程を経て, エッチング工程で穿孔し, さらに

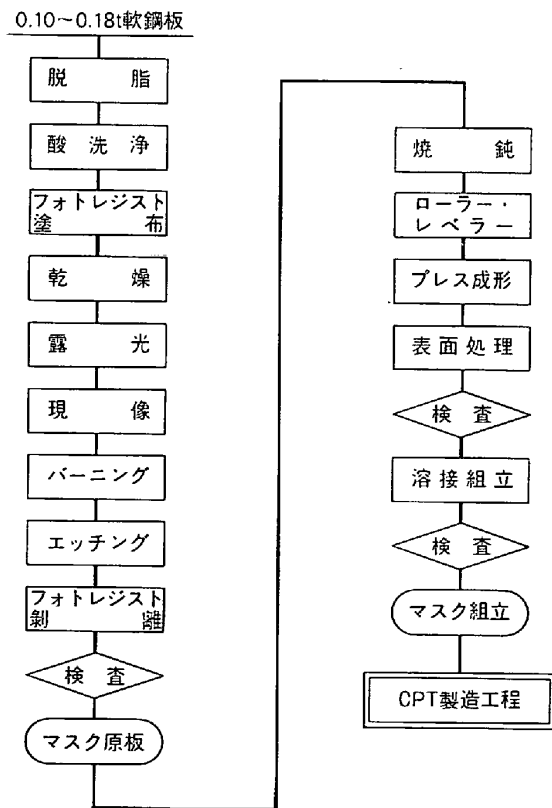


図 5 シャドウマスク製造工程概要

表 1 シャドウマスク材の組成

(単位%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al
<0.02	<0.05	0.2 } 0.5	<0.035	<0.05	<0.02	<0.003

フォトレジスト膜を剝離し製作する。シャドウマスクの組立体は, 焼なまし, ローラーレベラー工程を経て, プレス成形し, 所定の曲面にし, 次いで表面処理を行い, 溶接組み立てを実施し製作している。

4.3 シャドウマスク材

シャドウマスクの組成の一例を表 1 に示す。これは純鉄に近い成分である。シャドウマスクは前項で述べたような製造プロセスを経ていることと, シャドウマスク特有の「透過むら」という問題から, シャドウマスク材は通常の軟鋼板に比べ, 種々高度の要求が出されている。すなわち, シャドウマスク原板製造工程の要求とプレス成形時の要求を同時に満たすことが必要となってくる。以下, シャドウマスク原板製造工程とプレス成形時に要求される事項について述べる。

4.3.1 シャドウマスク原板製造工程で要求される事項

(1) 板厚の均一性

エッチングによつて穿孔される孔形状は, 同一条件でエッチングされた場合, 板厚によつて変化する。このため, シャドウマスク材は板厚 0.10~0.18 mm, 板幅 500~600 mm において, 板厚変動を $\pm 5.0 \mu$ 程度に抑えることが必要となってくる。みがき特殊帯鋼の場合, JIS によれば, 板厚 0.15~0.25 mm, 板幅 200~500 mm で板厚許容公差は $\pm 20 \mu$ であり, シャドウマスク原板の板厚精度に対する厳しさが理解できる。

(2) 平坦度

シャドウマスク製造工程で素材の軟鋼板は, フォトレジスト膜塗布後ガラス製パターンを密着させて露光している。このため, 鉄板の平坦度が悪いとパターンと鉄板の密着性が悪くなり, 作業性が悪くなる。このため平坦度もきびしく要求される。

(3) 介在物

シャドウマスク原板製造工程において, シャドウマスク材は, 現象, パーニング後塩化第 2 鉄溶液でエッチングされる。図 6 はエッチングの途中の段階を断面から見たものである。現在シャドウマスク原板として使用されている材料は軟鋼板であるため, 若干の介在物は避け難く, 図 6 の介在物(A)のごとく表層に存在し, エッチングの初期にエッチング面に露呈されるもの, および介在物(B)のごとく後期において露呈されるものがある。軟鋼板中の介在物としてはたとえば硫化物系, 酸化物系があるが, これらは塩化第二鉄に対する腐蝕速度がフェラ

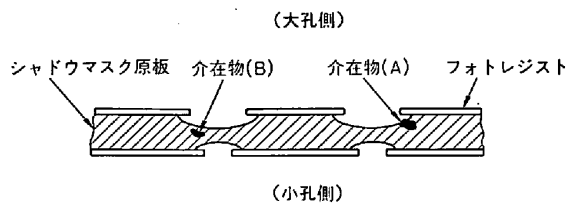


図6 エッチング途中の断面

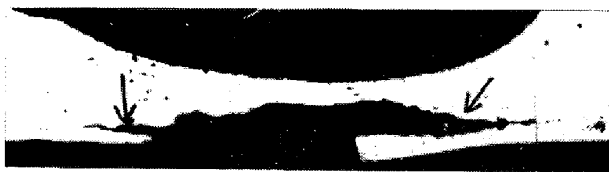


写真2 介在物による目詰り

イト粒と異なるため、エッチング後の孔形状が歪む。一般に介在物は腐蝕されにくく、エッチング後の孔形状は、小孔あるいは目詰りという形で現れる。写真2に介在物による目詰りの例を示す。以上の理由によりシャドウマスク材は介在物の少ないことが要求される。

(4) 結晶粒度

シャドウマスク材の結晶粒度は原板の機械的特性ならびにエッチング特性の両方を満足することが必要である。機械的特性としては、フォトリソエッチング工程の通過およびその後の取り扱いの観点から、Hv=180~200程度の硬い材料が使用される。一方、エッチング面から見た場合、結晶面により腐蝕速度が異なるため、粗粒の場合穿孔後の孔の縁が鋸歯状になり、シャドウマスクの品位を落とすため細粒であることが必要である。

(5) 蛇行

シャドウマスク製造ラインは各処理工程が長く連続しているため、シャドウマスク材が蛇行していると、各工程を安定して通過させることができずトラブルのもととなる。このため、特に蛇行の少ないよい形状の材料が要求される。

(6) 表面欠陥

シャドウマスクは数十万個の孔の集合体であり、孔の1個でも異常があればそのシャドウマスクは不良となる。従つて、シャドウマスク材の表面に欠陥があり、その欠陥により1個もしくは数個の孔形状が異常になればそのシャドウマスクは不良となる。特に、孔一個を見た場合問題とならない程度のもので、たとえば顕微鏡的にも孔寸法に有意差が認められない場合でも、シャドウマスク全体として透過光で観察し、明るさむらとして見える場合は「透過むら」不良となる。このため、シャドウマスク材の表面は鉄鋼製品の中で最高の品質が要求される。

4.3.2 プレス成形時に要求される事項

(1) 焼なまし後の結晶粒

シャドウマスクはプレス成形により、平板から球面状

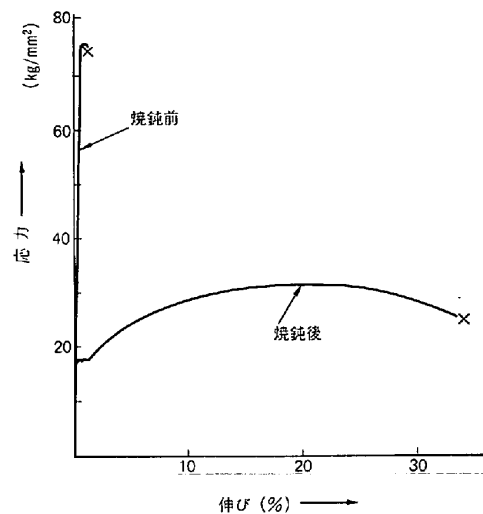


図7 焼なまし前後の機械的性質

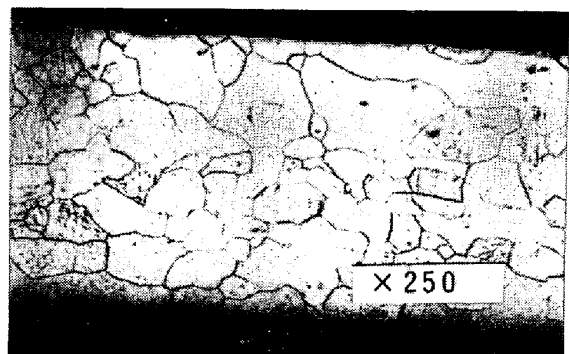


写真3 焼なまし後結晶粒

に加工されるため、1~3%の伸びが与えられる。シャドウマスク材は冷間圧延鋼板であり、そのままプレス成形すると破断してしまう。このため、プレス成形前に焼なまし、ローラーレベリングを行つている。図7に焼なまし前後の機械的性質、写真3に焼なまし後の断面写真を示す。焼なまし後の結晶粒が最適でないときプレス成形によつて部分的な伸び量の差が現れて透過むらが発生する。特にスロットマスクにおいては、プレス成形時に伸びの大部分が発生するブリッジ部分の結晶粒の影響が大きい。すなわち、結晶粒が大きすぎる場合はストレッチャーストレインによる透過むらが発生することになる。通常、安定生産領域の結晶粒度のばらつきは、ASTM No.で±1程度と非常に小さく、素材ロットの吟味、焼なまし温度のコントロールに注意しなければならない。

(2) 焼なまし後の機械的性質

先にも述べたように、プレス成形後のシャドウマスクの曲面は精度良く製作することが必要であり、焼なまし後の機械的性質は低降伏点であることが必要である。通常、焼なまし後の降伏点は10~20 kg/mm²程度である。また、焼なましによつて発生する降伏点伸びは、ローラーレベラーを通過させ除去しているが、ローラーレベラーの加工度を上げると孔変形が発生するため、軽度

のローラーレベリングを行つている。このようにローラーレベリングの制約、低降伏点化のため、焼なまし条件(700°C×10 min 程度)は完全アニールに近い形となつている。

(3) 成分偏析

シャドウマスク材に成分偏析があると、成分偏析部の強度差によりプレス成形による伸び量の差が現れ、透過むらとなることがある。特にこの透過むらはプレス成形後に検出されるものであり、付加価値損失が大きく、シャドウマスク材には成分偏析の少ない材料が望まれる。

5. シャドウマスク材の今後の問題

カラーブラウン管も技術的には成熟してきている。従つて、カラーブラウン管の今後の動向は、第1にコストダウンの方向がある。このために成形前のシャドウマスク原板のアニール、ローラーレベリング工程を省略することのできる焼なまし材が検討されている。この材料は、本質的には低降伏点伸びの特性を持つ材料の開発に帰するが、さらに現実的には機械的強度の小さい板の取り扱ひの困難なことが大きな障害となる。従つて、このような材料の実用化は、前後の工程の合理化とともに進められて行くことにならう。カラーブラウン管の他の動向は、ディスプレイ管、あるいは、将来の高品位画像テ

レビ放送への適用からの高精細画像の要求である。このためには、シャドウマスク孔ピッチを現行の1/2に細かくすること、あるいは、シャドウマスクの熱膨張を避けるための低熱膨張材料の使用等が考えられる。これからも、以上述べた各項目について、地道な技術の積み上げが必要である。

参 考 資 料

- 1) 財団法人 電波技術協会 カラー受像管試作委員会, 17形カラー受像管の研究, (昭36. 12)
- 2) 財団法人 電波技術協会 カラー受像管試作委員会, カラー受像管試作委員会研究報告書, (昭34.2)
- 3) A. M. MORRELL, H. K. LAW, E. G. RAMBERG, and E. W. HEROLD: Color Television Picture Tubes, (1974) [Academic Press]
- 4) 山田順一, 寺島悦三, 高見康司, 福田研治, 中井公光: カラーブラウン管, 特公昭 51-12391
- 5) 佐藤一雄, 高橋壮治, 明山正元: シャドウマスク製造方法, 特公昭 52-44868
- 6) 山田順一, 寺島悦三: カラーブラウン管シャドウマスクの製造方法, 特公昭 51-13102
- 7) 古関敬三: フォトエッチング, (昭44), p. 174 [日刊工業新聞社]
- 8) 森田俊一, 温蓋 修: カラーブラウン管のシャドウマスク用低炭素冷延鋼帯の製造方法, 特公昭54-26978