

ブラウン管 (CRT) (1)

CRT の超大型化

中 西 寿 夫

三菱電機株式会社 〒617 長岡京市馬場園所 1 番地

(1988 年 3 月 28 日 受理)

On the Huge CRT for TV Use

Hisao NAKANISHI

Mitsubishi Electric Corporation
617, Baba Zusho, Nagaokakyo-shi

(Received March 28, 1988)

Since a mass production of a large 37" CRT was achieved in 1984, 41", 42", 32", 43", 33" and 45" CRTs were successively developed by CRT manufacturers in Japan for three years.

This paper reviews the engineering and technical subjects in the mass production of large CRTs, such as glass bulbs, shadow masks, phosphor screens, electron guns, color purity under terrestrial magnetism, and manufacturing processes.

Among them, glass bulbs are discussed in detail.

1. は し が き

かつて、TV 用 33 インチ CRT や高品位用の画面比 5:3 という横長の 40 インチ CRT が少量製作されたことがあるが、昭和 59 年に、三菱電機が画面サイズ 37 インチ¹⁾という超大型カラー CRT (Cathode Ray Tube, 通称ブラウン管) の量産に成功してから、約 3 年の間に 41²⁾、42³⁾、32⁴⁾、43⁵⁾、33^{6,7)}、45⁸⁾インチと日本の主要 CRT メーカーから続々と開発の発表が行なわれ、大型テレビの時代の幕が開かれた。カラー CRT は、日本、アジア NICS、米、南米、西欧、東欧など各地で生産されているが、超大型 CRT の製造は、現在のところ、日本メーカーの独壇場にある。

このような大きなテレビ受像機が社会に送り出された背景には、日本社会の経済的余裕による高級志向があり、大画面で高画質の映像を家庭に居ながら楽しみたいという夢があった。

一方、このような期待に応えられる技術的な進歩も見逃せない。本稿は、超大型 CRT に関連する技術的問題について述べる。

2. CRT の構造

CRT の大小について統一された定義、規格はないが、通常、30 インチ以上を超大型という。このような慣例的な呼称は、時代と共に変化するものである。

CRT は Fig. 1 に示す二つの部品、パネル (panel)、ファンネル (funnel) から構成され、この両者を合わせてガラスバルブあるいは管体と呼んでいる。

パネルの前面部は、通常、フェイスといわれ、複数の曲率から構成された複合曲面であるが、全体としては円錐形状をなす spherical 面を有している。但し、トリニトロンといわれる特殊なカラー CRT のパネルは、円筒の一部からなる cylindrical 面で構成される。後で詳しく述べるガラスバルブの爆縮に対して、cylindrical パネルは不利で、大気圧に対する必要な強度を得るためにガラスを厚くしており、ガラスバルブ重量が大きくなるのを避けられない。

ファンネルにはアノード (anode) 電極が貫通して埋め込まれ管体外部から通電できる構成となっている。

37 型 CRT の全体構成を Fig. 2 の部分断面図に示す。パネルの内面には、赤緑青に発色する蛍光体がストライプ状 (縦方向の帯列) に交互に配列された蛍光面

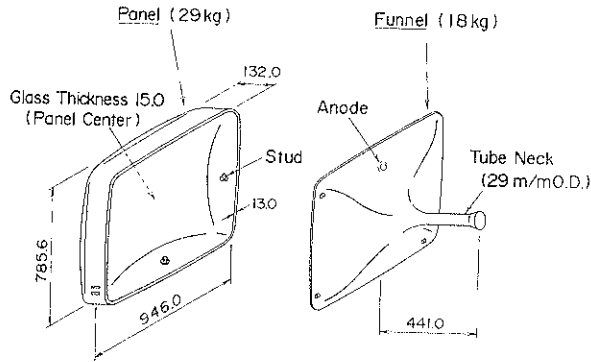


Fig. 1 Parts of 37" color CRT glass bulb. Unit: m/m.

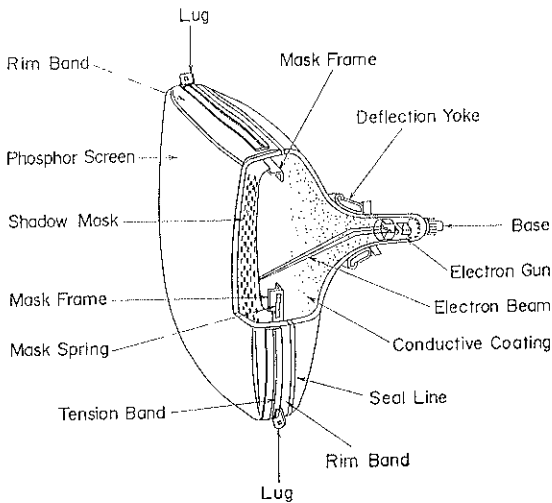


Fig. 2 Sectional view of 37" color CRT.

(phosphor screen) があり、画面として映像を映出する。蛍光面の背面にはアルミニウム薄膜が真空蒸着法によって形成され、蛍光面に電圧を印加する電極として、また蛍光体の発光を画面の前面に反射して輝度を稼ぐ、2つの役割を担っている。

アルミニウム薄膜の背後から約 25 mm 離れて、スリット状の開孔を有するシャドウマスク (shadow mask) が配置されている。スリットの開孔部の横幅は約 250 μm である。

シャドウマスクはマスクフレーム (mask frame) に、マスクフレームにはマスクスプリング (mask spring) がそれぞれスポット溶接されている。マスクスプリングは、パネルの内面側壁に埋め込まれているスタッド (stud) という金属部品に弾性を利用して填められ、シャドウマスクを保持する役目を果たす。

パネルの後部に、ファンネルが封着部 (seal line) によって接り、後方は細く絞られて外径約 30 mm のネ

ック管に接続している。ファンネルの内面には導電膜 (conductive coating) としてグラファイトが塗布され、アノードを通して蛍光面、シャドウマスクなどに 30 kV 程度の高電圧が印加される。

ネック管には電子銃があり、水平に約 5 mm の間隔で並んだ 3 本の電子ビームを発射している。電子ビーム量は電子銃の制御電極に印加する信号電圧で変調される。蛍光面の発光量 (輝度) は電子ビーム量によって変化し、画像の明暗を作る。

ファンネルには偏向ヨーク (deflection yoke) が装着され、電子ビームを磁界で偏向している。

バルブサイズは画面の対角線長、この対角線方向に偏向される電子ビームの角度を偏向角といい、各々 37 インチ、 110° である。

3. 製造工程

CRT の基本的製造工程を Fig. 3 に示す。

蛍光面は光感光材を紫外線で露光し、温水で現像するリソグラフィを用いて形成する。多用される感光剤は PVA (ポリビニルアルコール) で、この高分子樹脂は紫外光で高分子の架橋が進み、難水溶性になる。PVA は、通常、重クロム酸ソーダあるいは重クロム酸アンモンで増感される。

この PVA 溶液に緑蛍光体を混合した溶液 (スラリーという) を水平にしたパネル内面に注ぎ、パネルを回転して遠心力で溶液をひろげ、所定の塗膜を形成するスピン法が用いられる。次いで、シャドウマスクをパネルに装着し、緑蛍光体に入射する電子ビームの偏向点に配置した点光源から、紫外光線を照射して露光する。

シャドウマスクのスリットを通過した紫外線が入射した部分の塗膜は難水溶性に変質するが、シャドウマスクの影になった場所は PVA が水溶性を保っている。シャドウマスクをはずして温水で未露光部の塗膜を洗い流す。つまり、緑蛍光体を発光させる電子ビームが入射す

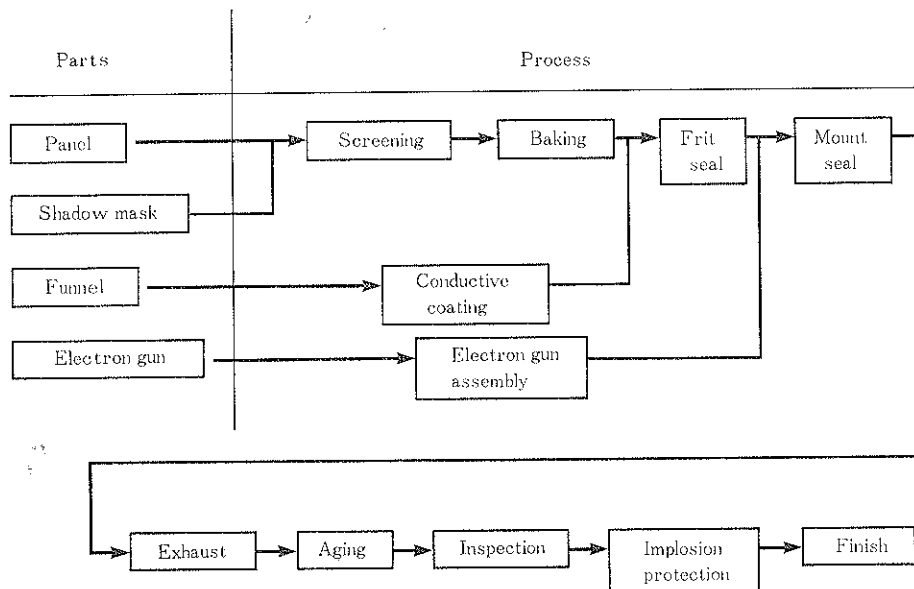


Fig. 3 Fundamental manufacturing process of 37" color CRT.

る部分だけに緑蛍光体が塗布されたことになる。このプロセスを他の蛍光体にも行うと蛍光面が形成できる。

前記の偏向点は、偏向ヨークによって電子ビームが屈曲される場所をいうが、実際には鋭角に曲がるのではなく、円弧を描いて曲がる。それで、偏向前後の両直線を外挿した交点を偏向点とする。偏向点は偏向角度が大きくなるに連れて移動するので、光源を連続的に移動させる必要がある。しかし、光源を移動させるのは問題が大きいので、光学レンズによって見かけ上光源が移動するような補正の手段が取られる。

点光源の位置は、各々の電子ビームに対応して変えられる。蛍光体幅（ストライプ幅）は約 0.2 mm である。

形成を終えた蛍光面に有機樹脂の溶液を塗布し、薄く展張した塗膜を作る。これをフィルミング（filming）という。この塗膜の上にアルミニウムを真空蒸着する。このフィルミング材料は、ベーキング工程で気化し、除去される。

シャドウマスクは感光材を塗布した鉄板をマスタープレート（マスタプレート）の孔パターンを通して紫外線露光し、現像後、化学エッチングで孔をあける。孔断面は、孔のエッジに当たる電子の散乱を少なくするために、Fig. 4 の形状にする。これを約 1200 mmR の曲率にプレス成形し、高温酸化雰囲気中で化学的に安定な Fe_3O_4 なる酸化膜を表面に形成する。この四酸化鉄膜は黒色を呈するので膜形成を黒化処理といい、CRT の製造工程中の錆を防ぎ、熱放散を良くして電子ビームによる昇温を少なくする。

排気は、400°C 近くまで CRT を加熱しながら真空ボ

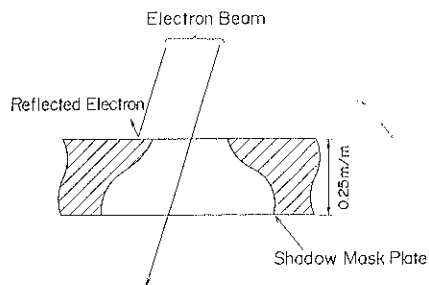


Fig. 4 Schematic sectional drawing of shadow mask plate.

ンプでバルブ内の空気を排出し、CRT 管内を 10^{-5} Torr 程度の真空度にする工程である。エージングは、電子源になる酸化陰極に通電加熱して活性化し、電子放出を良くする工程である。

CRT の製造において、少なくとも、パネルは 3 回、ファンネルは 2 回、熱処理工程を経る。

4. 超大型 CRT の要素技術

超大型 CRT に係わる問題として、ガラスバルブの対大気圧性能と重量対策、シャドウマスクの剛性、画質などが挙げられる。安全性の点から必要なガラス厚さを取るとバルブ重量は 35~80 kg 程度にまでなり、熱応力、取扱い、いずれも大きな問題である。画質の点でも、画面輝度、色ムラ、解像度、全て、従来技術の延長では対処が難しく、いろいろの工夫がなされている。これらに

ついて、何が問題か述べる。

4.1 ガラスバルブ

超大型 CRT において、最大の技術課題はガラスバルブの開発といっても過言ではない。ガラスバルブの大きさは、原理的には限界がないといえるが、工業技術的には限界があり、時代と共に変わるものである。すなわち、経験、実績に基づいて段階的に大型化してきており、飛躍的に大型化することは、企業投資のリスクからも難しい。

開発されたような超大型ガラスバルブ製作の設備費用（金型、治具、他）は、数千万円ないし数億円といわれ、技術的に、また企業的に成功する見込みがなければ製品開発を着手し難い。従って、CAE 等による予測と試作による実証の手続きは欠かせない。37 型超大型 CRT バルブの設計には有限要素法などによる計算機シミュレーションが有効に活用され、見通しがつけられた。パネルは、ガラス溶解炉から流れ出た高温高粘度の溶融ガラスをオリフィスから押しだし、約 30 kg（37 型の場合）の滴粒になったところでシャー・ブレードで切り離す。切断された高温のガラス・ゴブ（glass gob）はモールド型に落され高圧プレスでプランジャーで加圧整形される⁹⁾。パネル表面は砥粒を用いて丹念に研磨され、最後にバフ仕上げが行われる。ファンネルも同様のモールドプレス法で作られる。

超大型になれば、研磨作業、ガラス歪、泡、脈理、寸法精度など全てが困難になる。バルブガラスは封着作業性他の理由で軟質ガラスが使用されているが、スリ傷などがつきやすい欠点があり、製造工程での取扱は大変である。

CRT は、内部が真空であるため、常時大気圧をガラスバルブ全体で受けている。割れると大気圧で押されて、破片が CRT の中心部で相互衝突し、周囲に高速で飛散する爆縮という現象を起こす。安全性を確保するためには、ガラス厚さを十分にすれば良い。一方、CRT の製造工程では、前章に述べたように、パネルは少なくとも 3 回の 400°C 以上の熱処理を経る。そのため、できる限り薄肉にして熱容量を小さくし、昇温あるいは下降の際に受ける熱応力を抑えガラス割れを防ぐ。而要因を考慮したバルブサイズと重量の関係は Fig. 5 に示すように、大型化に伴い指数関数的に重量が増しているが、爆縮をガラスの板厚だけで防ぐことは困難である。

ガラスバルブには、大気圧によって CRT のパネル面には圧縮応力が加わり、パネルの周辺部では張力が働く¹¹⁾。それで、パネル周辺部にこれら応力と拮抗させて鋼鉄帯を巻き、締め付ける防爆処理を施す。これによってガラスが割れても爆縮は起こらない。37 型管にはバ

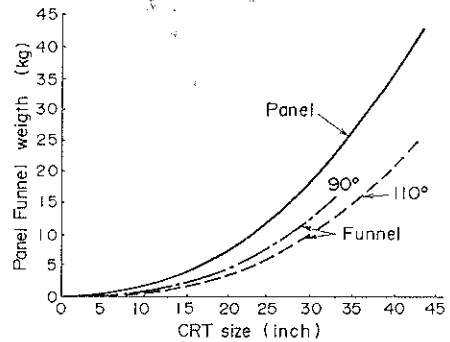


Fig. 5 Size vs weight of color CRT bulb.

ルブの応力解析を行い、鋼鉄帯の最適設計値が求められた¹²⁾。

パネル前面にガラス板を樹脂で貼り付けるラミネート方式とよばれる防爆処理がある。防爆には有効な方法であるが、CRT 重量が増し、非常にコストが掛かるといふ欠点がある。

さらに、大型になると新しい防爆構造の開発が必要になる。

4.2 シャドウマスク

シャドウマスクは 0.25 mm 厚程度の鉄板を用いる。超大型になると化学エッチング液の流れムラが問題となり、開孔スリットの形状を制御することが困難になる。従来の腐食法は改良を要する。

エッチングで孔空け加工されたシャドウマスク板は、プレス機で所定の曲率に加工される。この加工精度は、色ムラなど画質に影響するため、きびしく追求される。特に、プレス金型の加工精度は重要で数値制御工作機械などを用いて精密に加工される。超大型 CRT のシャドウマスクは、形状が大きいために、金型加工、プレス成形したマスクの取扱い、マスクフレームへの溶接組立、いずれも従来技術では不十分で、種々の工夫がなされている。

スリット孔を通過する電子ビームの透過率は 20% 程度で、80% は高速でシャドウマスクに射突し、運動エネルギーを熱に替える。その結果、シャドウマスクは 100°C 以上に昇温熱膨張してスリット孔の位置がずれ、電子ビームの軌道が変わって正しく蛍光体に入射しなくなり、色ずれを起こす。テレビ画像で白色の衣服を着た人物が長く画面に留まると次第に赤っぽくなることもあるが、熱膨張によるものでこの現象を慣用的にドーミングという。

超大型になると、昇温の影響が大きくなり、ドーミングが起こりやすい。これに対し、低熱膨張のインバー材を用いる¹³⁾、電子反射係数と熱放射係数の高い Bi_2O_3

をマスクに塗布する¹¹⁾などの工夫がなされている。

しかし、前者はインバー材料が高価、化学エッチングが難しく、プレス成形が難しい、機械的振動に弱いなど多くの問題を抱えており、本格的な実用化は進んでいない。後者はインバー材マスクのような欠点はないが、ドーミングに対する効果はインバー材より少なく、塗布膜から CO、CO₂ 等が電子衝撃によって放出するので、CRT の真空度維持に注意を要する欠点がある。

超大型マスクは、構造上、振動に弱く、マスクが揺れて画面が見苦しくなる。この問題には構造設計の最適化が必要である。

4.3 蛍光面

スクリーンサイズが大きくなる程美しい蛍光面を作することは困難になる。超大型管は塗膜形成に新しい製造ノウハウが欠かせない。

色ムラ、輝度ムラのないスクリーンを得るには蛍光体の塗膜は一様でなければならない。カラー CRT の塗膜は、前述したように、スラリー状の光感光剤をパネルの中心部に滴下し、パネルを回転させて、遠心力で液を広げるスピン法で塗布形成する方法が多用される^{14,15)}。パネル重量が大きくなるとパネルの回転や温度を所定の条件に保つことが難しく、一様な塗膜を得るのは苦労が多い。すなわち、パネルの長辺方向と短辺方向及び4隅への距離差と遠心力の違い、パネル内面の曲率の微妙な差などが影響して、液の流れが異なりムラが生じやすい。

アルミニウム薄膜の出来具合は、蛍光面の輝度に大きく寄与し、平坦な膜ほど高い輝度を得られる。しかし、平坦な膜は蛍光体粒子と接触する部分が少なくなるため、蛍光体から剝離落下しやすく、最適状態に制御することは難しい。蛍光体は、基本的には Si-O 結合を介してガラスに付着しているが、蛍光体粒子同士はファンデルワールスの力で結合し、本質的に強固な接着力が作用しているわけではないから、ひどい場合には蛍光面と共に落下することがある。特に、超大型 CRT のように大面積の蛍光面に平坦なアルミニウム薄膜を形成することは容易ではない。このような膜を作る成否は、フィルム技術に大きく依存する¹⁶⁾。

以上のように、蛍光面形成において、濡れ、粘性、表面張力、その他表面科学の果たす役割は大きい。蛍光面製造技術は CRT メーカーの高度のノウハウに属し、各社独自の研究開発を行っており、学会などの場で論じられることは少ない。激しい企業間競争の下ではやむを得ないことであるが、理論的アプローチが弱いのではないかと懸念される。

開発された超大型 CRT の蛍光面構造は基本的に従来と同じであり、発光効率も改良されていない。従って、

同じ入力の下では、蛍光面の面積に反比例して輝度は低くなる。これは画質からみて、大きな問題である。

蛍光体の露光工程では、電子ビームの偏向量による偏向点の移動を補正するために、補正レンズを使用することを前述した。これは複雑な曲面をもつ非球面レンズで、幾何光学的設計、研磨による曲面の形成、精度検査など、どの課題をとっても高度に難しい問題である。

超大型 CRT になると、特に、レンズ設計に高度の技術が必要とする。これらの技術が弱いと、後述する磁気裕度が狭くなり、美しい色を得ることができなくなる。

4.4 電子銃

電子ビームは電子銃内に形成する電子レンズで集束され、蛍光面に焦点を結ぶ。Fig. 6 は光学レンズに擬した CRT の電子光学系を示す。CRT が大きくなる程、集束面と蛍光面との距離差が大きくなり、蛍光面周辺のフォーカス性能が劣化する。さらに、偏向コイルの磁界分布特性に起因する偏向収差が加わって蛍光面周辺部で電子ビームの形状は複雑に歪み、一層解像度を悪くする。超大型管のフォーカス設計、すなわち、電子銃の構造設計は難しい。

37 型には世界で初めて開発に成功した DBS 電子銃が採用され、これらの問題は同時に解決された¹⁷⁾。しかし、画質の向上は永遠の課題であり、新しい電極系の開発が進むであろう。

超大型 CRT になると、輝度を確保するために、電子ビーム量を増して使用される。このため、電子源として使われてきた酸化物陰極 (oxide cathode) は電流密度の点で限界を越え、CRT の寿命が問題となる。

この問題に対し、電流密度に充分な余裕のある含浸型陰極が使用されることがある¹¹⁾。しかし、この陰極は、動作温度が高く電子銃への悪影響が多い、活性化に長時間を要するために量産ラインに乗せにくい、湿度に弱く性能が不安定、製造コストが高いなど多くの問題を有し、CRT の量産に適した陰極とはいえない¹⁸⁾。新 CRT の開発時には採用したと発表されて、話題になるが、本

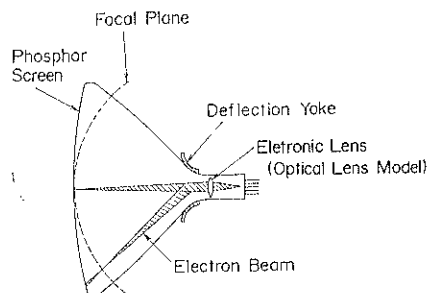


Fig. 6 Electron optics of CRT.

格的な使用実績はみられないのが実状である。

37 型 CRT には、新しく開発された酸化スカンジウム分散型陰極が採用され、上記の問題は全て解決している¹⁹⁾。この陰極は、酸化物陰極の 4 倍の電流密度で使用しても、寿命は酸化物陰極の 3 倍も長く、動作温度、活性化時間など全て酸化物陰極と互換性があり、コストもわずかに高くなるだけである。今後、この陰極が、CRT 用陰極として酸化物陰極に替わる可能性は高く、数社で追試が始まっている。

4.5 地磁気裕度

カラー CRT は地磁気の微小な磁気量 (0.3 Gauss 程度) でもフレミングの左手の法則に従って、左右あるいは上下方向に電子ビームの軌道が曲げられ、蛍光体に正しく射突しなくなり色ずれを起こす。通常、CRT 内部には磁気シールドが取り付けられ、地磁気の影響を除去している。超大型 CRT は影響量が大きいので、しゃへい効果の大きい磁気シールドが求められ、構造設計に工夫がいる。

37 型 CRT には、管体外部に装着する外部磁気シールドが採用され大きなしゃへい効果を得ている。

4.6 製造工程

ガラスバルブの大型化、重量増に対応するために、製造設備の新規開発が必要となる。加熱炉の大型化をはじめ、製造設備は大型化、強度向上が必要で、多額の投資を要する。また、熱処理工程の昇温、下降率は下げざるを得ず、製造時間は長くなる。また、防爆処理完了までの安全面からみた CRT の取扱い方法は重要な問題である。これらの問題を的確に解決することが、超大型 CRT の量産に成功するために大切である。

5. 今後の課題

開発された超大型 CRT の輝度は面積比からみて 20 型の 30~50% 程度で、十分とはいえない。輝度は蛍光面の入射エネルギーに比例するという考えから、高輝度を得るためにカソード電流を増し、蛍光面電圧を高くすることに頼るのは CRT の信頼性に悪影響を与え、望ましくない。

カソード電流の増加は陰極の負荷を増大し、電子ビームスポットが大きくなる結果、解像度が低下し、又、ドローミングが起り易くなり、良い画質を得られなくなる。

蛍光面電圧を高くすることは、CRT 管内の放電確率を上昇させ CRT 自体の損傷が起りやすくなる、回路部品の高耐圧化を必要としあるいは回路部品の故障を招く、CRT の X 線発生量の増大に対処するためにガラスバルブの肉厚化が必要となりバルブ重量の増加につながる、消費電力が増えるなど多くの問題を引き起こす。

ドローミングも起りやすくなる。蛍光面の発光効率を上げる研究が必要である。

バルブ重量の低減は大きな課題であり、対大気圧性能からみたガラスバルブの形状設計、防爆処理法、排気工程以降の安全確保の方法などの研究を通して追求されるものである。

また、見やすい画面という観点からパネルの平坦化も研究課題である。しかし、これはガラスバルブの強度とトレードオフの関係にあり、生やさしい課題ではない。

6. あとがき

画像表示の多様化が進み、各種の表示素子が実用化されていくなかで、画質の美しさから、CRT は画像表示素子の主流でありつづけるであろう。そして、激しい企業間競争がさらなる大型化とその性能向上をもたらし、CRT の映像はさらに美しくなり、容易に他の表示素子の追従を許さないと確信する。最後に、ガラスバルブの製造に関する記述については、日本電気硝子(株)大工課長に点検していただきたい。ご好意に謝意を表します。

文 献

- 1) 電波新聞 (1984, 12, 20).
- 2) 日刊工業新聞 (1986, 4, 2).
- 3) 電波新聞 (1986, 5, 17).
- 4) 電波新聞 (1986, 5, 19).
- 5) 日刊工業新聞 (1986, 9, 12).
- 6) 電波新聞 (1986, 9, 19).
- 7) 電波新聞 (1987, 4, 4).
- 8) 日刊工業新聞 (1987, 9, 25).
- 9) 日本電気硝子 P&P, No. 8, p. 20.
- 10) 小林弘男: 電気学会ディスプレイデバイス調査専門委員会資料 (1986).
- 11) 足立 収, 藤沢英邦, 北島 進, 木下 喬: National Technical Report v33, n2, 36 (1987).
- 12) 伊藤順子, 吉岡純夫, 中村浩二, 海野憲一: 第12回材料力学談話会資料.
- 13) 山崎英俊, 中村三千夫, 高橋 享: 東芝レビュー v42, n8, 605 (1987).
- 14) E. Scharrer, L. Grimm and K.-J. Hilke: Chemie in unserer Zeit/9, Jahrg. n6, 163 (1975).
- 15) S. Larach and J. E. McGowan: RCA Review 45, 337 (1984).
- 16) R. W. Dudding and D. J. Finnett: J. of the Electrochemical society 105, 388 (1958).
- 17) R. Ishida, H. Yamane, M. Tosiya, S. Okuda and H. Nakanishi: Proceedings of 1986 SID 18.3.
- 18) 中西寿夫: 応用物理 56, 1423 (1987).
- 19) 齊藤正人, 石田誠子, 福山敬二, 鈴木 量, 渡部 頸二, 黒川博志, 佐野金次郎, 鎌田豊一, 中西寿夫: 電子情報通信学会研究報告 v87, n364, 25 (1988).