アルカリハライド蒸着面を用いた 低速走査蓄積管

株式会社松下電器東京研究所

宇野喜博・川上秀彦
前田晴雄

アルカリハライドの蒸着面を、電子ビームで照射すると、F 中心と称する光吸収帯が生ずる。この性質は、情報を蓄積するための一手段となる。アルカリハライドとして、KCl および NaCl を用いたときの、F 中心の生成感度、保持および消去特性について調べ、KCl 蒸着面をスクリーンとした蓄積管を試作した。これらから、アルカリハライド蒸着面は、高密度な蓄積、あるいは低速走査による蓄積に対して有用であるとの見通しを得た。

1. ま え が き

電子ビームは、それ自体エネルギーおよび電荷をもつゆえに、物質に物理的、化学的变化を及ぼすことができる。また、その発生は比較的容易であり、それ自身のエネルギー、量、形状、およびその位置を高速かつ正確に制御できる。このため、電子ビームは、記録や蓄積のための筆として多く用いられてきている。

この筆によって書かれる紙に相当する記録媒体としては、銀塩、非銀塩の各種の記録物質を含めて、種々のものが考えられているが、構造と製作がきわめて簡単で、しかも、消去もできるものとなると、まず第一に昔から

筆者紹介

宇野喜博 昭和 36 年、京都大学工学部電気工学科卒業。同年、松下電器産業株式会社入社、東京研究所へ配属、同年～昭和 38 年、東大生研へ国内留学し、液体窒素冷却パラメトリック増幅器の研究を行なう、以後、東京研究所において、電子ビームを用いた記録方式の研究を行なう。正会員。

川上秀彦 昭和 40 年、福井大学工学部応用物理学科卒業。同年、松下電器産業株式会社入社、昭和 41 年、東京研究所配属、電子ビームを用いた記録方式の研究を行なっている。

前田晴雄 昭和 19 年、慶応義塾大学工学部電気工学科卒業。NHK 技術研究所、ヒューレットパッカード会社を経て、現在、松下電器東京研究所勤務、その間、マイクロ波管、陰極線管等の研究に従事。工学博士。正会員。

あるアルカリハライド面があげられる。

アルカリハライドの結晶に電子ビームを照射したときの、着色現象に関する物理的研究はかなり古く、E. Goldstein^{1)~4)} にその端を発している。これを発展させて、陰極線管のスクリーンとしたものに、R. W. Sutton⁵⁾ 一派があるが、さらに 1940 年台、レーダーの受像管を目的とした、Skiatron⁶⁾ と称するもの、および投射形テレビジョンの光変調素子⁷⁾ としての Dark-trace-tube などが現われた。しかし、アルカリハライド蒸着面はこのような目的、用途に対しては十分に適合せず、満足した特性をもたないためか、あまり発展がなかった。近年になって、オシロスコープのための簡易蓄積管としての用途に着目し、消去機構に改良を加えたもの⁸⁾ がいくつか発表されている。

筆者らは、上記の諸例とは少し異なった利用観点から、記録蓄積媒体としてのアルカリハライドスクリーンを眺め、この現時点での新しい利用を考え、改めてその特性と低速走査形蓄積管への応用を検討した。

2. アルカリハライド結晶に生ずる F 中心^{9)~11)}

アルカリハライドの結晶は、通常は約 4,000 nm 程度の赤外から、約 200 nm 程度の紫外にわたって透明な、面心立方格子（室温における CsCl は体心立方格子）のイオン結晶である。しかるに、何らかの理由により、この結晶中に格子欠陥が生じ、そのうちのハロゲンイオンの抜け出たあとの空格子点に、電子が 1 個捕えられた状態が生ずると、この結晶は、特有な波長の光を吸収するようになる。これがいわゆる F 中心 (Color Center, Farb Zentren, あるいは色中心などと呼ぶ) と称するものであ

* "Slow Scanning Storage Tube with Alkali-Halide Evaporated Screen" by Yoshihiro Uno, Hidehiko Kawakami and Haruo Maeda (Matsushita Research Institute Tokyo, Inc.). テレビ用電子管研究委員会発表 (昭 41.11)

る。

このF中心は、結晶に電子ビームを照射することによっても生成させることができ、その吸収の中心波長は、ほぼ可視光領域内に分布している。表1にアルカリハライドの結晶と、F中心による吸収の中心波長との関係を示す。これは格子定数と密接な関係があって、E. Mollwo¹²⁾は実験式として次のものを示した。

$$\lambda_{\max} = 6000 d^2 \quad (1)$$

$\lambda_{\max}$: 室温における吸収の中心波長 (nm)

d : 格子定数 (nm)

F中心による光の吸収特性は、単純なベル形をしており、その形および中心値は温度により変化する。O'Rourke¹³⁾とLax¹⁴⁾は半値幅を計算し、次式を示した。

$$W = A [\cot(h\nu_g/2kT)]^{1/2} \quad (2)$$

A, ν_g : 定数

h : プランク定数

k : ボルツマン定数

T : 温度 °K

表2に、室温における各物質の吸収帯の半値幅を示

表1 アルカリハライドの300°KにおけるF中心吸収中心波長および格子定数

Wavelengths of the F center absorption peaks at 300°K and the lattice constants of Alkali Halides.

物質	吸収中心波長* (nm)	格子定数** ($\times 10^{-4}$ nm)
LiF	250	4.02
LiCl	385	5.13
NaF	341	4.62
NaCl	458	5.628
NaBr	540	5.96
NaI	588	6.46
KF	455	5.33
KCl	556	6.28
KBr	625	6.59
KI	689	7.05
RbCl	609	6.54
RbBr	694	6.85
RbI	756	7.33
CsCl	605	4.11
CsBr	680	4.29

* Tabulated by Dr. C. C. Klick, in colour centers in solid⁹⁾

** From the Tables of Th. Ernst published in the Landolt-Börnstein Tables, Vol. I, Part 4, Springer, Berlin (1955)

表2 室温におけるF中心吸収半値幅
Half-width of F center absorption at room temperature.

	計算* (eV)	実 測	
		(eV)*	(nm)
KCl	0.39	0.36	92
NaCl	0.47	0.47	72
KBr	0.37	0.41	132
KI	0.35	0.38	144

* S. I. Pekar: Untersuchungen über die Electronentheorie der Kristalle, Akademie-Verlag, Berlin (1954)

図1 F中心(KBr)の温度依存性¹⁶⁾
Temperature dependence of the F center absorption in KBr.

す。図1には、KBrの吸収特性の温度依存性を示す。また、結晶中に生成したF中心の数と光吸収量との関係を、A Smapula¹⁵⁾が求めている。

$$Nf = \frac{9mc}{2e^2} \cdot \frac{n}{(n^2+2)^2} \alpha_{\max} W$$

$$= 1.29 \times 10^{17} \frac{n}{(n^2+2)^2} \alpha_{\max} W \quad (3)$$

N : 1 cm^3 当りのF中心の数

f : F中心の電子の共振強度、すなわち、電子が光を吸収してエネルギー遷移を起こす確率、KClは0.90、NaClは0.81

$\alpha_{\max}$: 最大吸収を示す波長における1cm当りの吸収係数

W : F吸収帯の半値幅

m : 電子が静止しているときの質量

e : 電子がもっている電荷

n : F吸収帯における屈折率

一方、光学濃度 O. D (optical density) は次式で表わされる。

$$\text{O. D} = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_t} \right) \quad (4)$$

I_0 : 入射光量

I_t : 透過光量

これを用いて、(3)式を変形すると、

$$N = \frac{\text{O. D}}{d} \times 10^{16} \times \begin{cases} 1.0 & \text{for KCl} \\ 1.4 & \text{for NaCl} \end{cases} \quad (5)$$

d : F中心が生成された層の厚さ (cm)

$$\text{ただし } \alpha_{\max} = \frac{(\ln I_{0\max}/I_{t\max})}{d}$$

$$= 2.303 \frac{\text{O. D}_{\max}}{d}$$

これによって、 1 cm^3 当りに生成したF中心の数を求めることができる。完全な結晶のハロゲン格子点の数は、

$$1.25 \times 10^{22} / \text{cm}^3 \cdots \text{for KCl}, 2.25 \times 10^{22} / \text{cm}^3$$

$\cdots \text{for NaCl}$

であるので、ハロゲンイオン格子点に対する生成 F 中心の割合を知ることができる。また、格子振動により空格子点となっているハライド格子点の数は、純粋なアルカリハライドの結晶の多くがとる、いわゆる Schottky 形のものでは、次式で与えられる。

$$n_v = BN \exp(-W_s/kT) \quad (6)$$

B : 定数

N : 全格子数 (絶対零度のとき)

W_s : Schottky 形格子欠陥 1 個を作るに要するエネルギー, 1.0 eV for NaCl, KCl, KBr.

これは、 $T=800^\circ\text{K}$ において、 $n_v/N \approx 10^{-6}$ 程度のものである。また、生成された F 中心は、電圧を加えることにより移動する。この移動速度 $v^{16)}$ は、

$$v = v_0 E e^{-\omega/kT} \quad (\text{cm/sec}) \quad (7)$$

v_0 : 定数 $\approx 100 \text{ cm/sec}$

E : 結晶に加えられる電界 (V/cm)

$$\omega: E_F - \frac{1}{2}w$$

E_F : F 中心の解離エネルギー

1.95 eV for KCl, 1.89 eV for NaCl

w : 正負の空格子点の対を作るに要するエネルギー $\approx 1.9 \text{ eV}$

$T=300^\circ\text{K}$ とすると KCl の場合 $v=1.5 \times 10^{-15} E (\text{cm/sec} / \text{V/cm})$.

3. 実験装置および実験方法¹⁷⁾⁻¹⁹⁾

電子ビームの照射により F 中心の生成される感度特性を調べるために使用した電子ビームの照射装置は、図 2 に示すようなものである。特徴とするところは、

(1) 電子ビーム発生源と試料室との途中にゲートバルブを設け、これにより試料交換に際して、電子銃

図 2 ディマウントابل実験装置
Demountable apparatus for the experiment.

が大気により汚染されるのを防止したこと。

(2) 後段加速方式を採用し、電子ビームの加速電圧を変化させたときの、電子ビームの受ける影響を少なくしたこと。

である。書込みに使用した電子ビームの電圧は、12~27 kV、電流は $1 \mu\text{A}$ とし、試料を照射する電荷量は、走査速度を変えることにより制御した。走査する電子ビームの電荷量の決定は、電子ビームが、1 次元的にガウス分布するものとみなし、生成 F 中心像の幅および 1 sec 当りの走査長より算出した。

試料は、30φ 厚さ 2 mm の石英ガラスを下地として使用し、電子ビーム照射の際、帯電して試料の電位が下るのを防止するための透明導電膜 (SnO_2 , ネサ膜) を塗布し、この面上に単結晶アルカリハライドを、ベリリア磁器ルツボより蒸着した。このときの真空度は $1 \sim 2 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$ 、下地温度はほぼ室温である。蒸着角は 0° および 45° とした。

蒸着膜厚の測定は重量法により、単結晶の比重から等価換算厚として求めた。生成した F 中心による光吸収量の測定は透過光式で行ない、マイクロフォトメーターを使用した。光電管は S4 特性のものを使用し、光源には F 中心と中心波長の一致した半値幅 20 nm の干渉フィルターを使用した。また、以下に示す F 中心の保持特性は、暗所に保存しながら適当な時間をおいて測定し、また、消去特性は充分熱容量の大きい電気炉とマイクロフォトメーターとの組合せにより測定したものである。

4. 実験結果および解析

図 3 (a), (b) に、KCl, 蒸着角 45° で、(a) 蒸着膜厚が $2.37 \text{ mg/cm}^2 - 12.5 \mu$ と、(b) $0.32 \text{ mg/cm}^2 - 1.66 \mu$ の 2 つの両極端の場合の感度特性を示す。これにより次のことがわかる。

(1) 電荷量 - 光吸収度特性は、電荷量が少ない間は $\log - \log$ 座標上で直線となり、次式で示される。

$$O.D = \log_{10}(I_0/I_t) = BQ^A \quad (8)$$

A : 勾配を決定する定数 (物質, 蒸着条件に支配される)

B : 単位電荷量 ($1 \mu\text{C/cm}^2$) に対する感度を示す定数 (蒸着膜厚, 電子ビーム加速電圧に支配される)

電荷量が増加するにつれて飽和特性を示すようになり $200 \sim 300 \mu\text{C/cm}^2$ 以上では濃度は増加しなくなる。さらに、 $1000 \mu\text{C/cm}^2$ を越すようになると、かえって濃度は減少する。これは電子ビームの加熱作用により、F 中心の生成と同時に消去が行なわれたためである。図 4 に KCl, および NaCl を $0^\circ, 45^\circ$ の角度で蒸着したとき、

(a) 厚い膜のとき For the thick film.

(b) 薄い膜厚のとき For the thin film.

図3 電子ビーム量-光吸収特性
Characteristics of electron beam charge density vs optical density.

図4 感度特性
Characteristics of sensitivity.

膜厚および、電子ビーム電圧に対して、 A および B がどのように変わるかを示す。

(2) 膜厚が厚いときは、電子ビーム加速電圧を増すほど吸収量は増す。膜厚が薄いときは、加速電圧の増加

図5 電子ビーム透過距離および到達最高濃度
Electron beam penetration depth and maximum optical density.

図6 保存および消去特性
Holding and bleaching characteristics.

に伴って吸収量はかえって減少する。これは電子ビームの物質透過作用に基づくものである。したがって、膜厚がきまると、最も高い感度を与える電子ビーム加速電圧が存在することになる。そして、その関係はほぼ電子ビームの示す最大透過距離と膜厚を一致させればよい。Grün²⁰⁾により実験的に導かれた、電子ビーム最大透過距離と電子ビーム電圧との関係式は、

$$R = 4.57 \times 10^{-3} E^{1.75} (\text{mg/cm}^2) \quad (9)$$

R : 電子ビーム最大透過距離

E : 電子ビーム加速電圧 (kV)

となり、これを図5中に破線に対応させて示す。また、図5中に、各試料の到達最高濃度と膜厚との関係を示す。測定点に書いてある数字は、その吸収を示した電子ビーム加速電圧 (kV) である。

(3) 角度蒸着を行なった場合、感度および到達最高濃度は非常に増加する。ただし、角度蒸着を行なうと、透明度は悪くなる。

図5に試料を暗所に放置したときのF中心の保存特性および、消去特性を示す。これによりF中心の消滅は t^{-n} 形であり、実験式として (10) 式が得られる。

$$O.D. = \log_{10}(I_0/I_t)$$

図 7 温度-消去勾配-特性
Characteristics of temperature vs
bleaching slope.

$$= D_0 \left(\frac{t}{0.001} \right)^{-n} \quad (10)$$

D_0 : 電子ビーム照射直後の吸収量

t : 時間(日) $> 0.001 \sim 90$ 秒

この特性は物質および温度によって定まり、照射電圧、蒸着量、蒸着角には依存しないようである。時間が充分に長くなると、曲線となる傾向がある。これの比較的直線部分の勾配を温度の逆数に対して描くと、図 7 のように直線になる。このことと (8), (10) 式より、F 中心による吸収の総合実験式として次の (11) 式を得る。

$$O.D = \log_{10}(I_0/I_t)$$

$$= BQ^A \left(\frac{t}{0.001} \right)^{-\exp(E_0 - \frac{E}{kT})} \quad (11)$$

E_0, E : 定数 (eV)

T : 温度 (°K)

k : ボルツマン定数

	KCl	NaCl
E_0	10.5	2.9
E	0.36	0.18

5. 試作記録管

以上のような特性の KCl 蒸着面をスクリーンとした記録管を試作した。図 8, 写真 1 に示すように。その構造は非常に簡単なものである。スクリーンの基板として片面にネサ膜 (300Ω) を塗布した 500 μm 厚のパイレックスガラスのマイクロシートを使用し、その上に KCl を高周波加熱によって、管内に封入した NM 合金ルツボより蒸着した。

また、KCl は吸湿性が強いので、あらかじめ管外で蒸着を行なって管内に封入すると、ときにガラス加工中

図 8 試作蓄積管構造図
Structure of the experimental storage tube.

写真 1 試作蓄積管
Experimental storage tube.

に吸湿して記録能力が著しく低下する。しかしながら、蒸着後取り出してから、ガラス加工が終了する段階までの防湿管理を充分に行なうことによって、外部蒸着によってでもスクリーンの記録感度を損ずることなく管の封じ作業を終ることができる。

電子銃は鏡と一体の構造となっており、鏡の位置に対応するガラス管壁には、ネサ膜が塗布してある。KCl 蒸着膜は数 μm の微結晶の膜ゆえ、高解像度の記録が行なえる。この鏡を用いた光導入機構は、KCl 蒸着面上の像を、スライドプロジェクターのような小さく書込んだものを大きく映写するように、拡大投影することを可能にしている。

像の消去は、ネサ面に直接電流を流し、これによる発熱によって行なう。この電流源として、コンデンサに貯わえられたエネルギーを利用すると、スクリーンの温度は初め急速に上昇し、放電の進行とともに電流は減少するため、温度上昇はゆるやかとなり、スクリーンは消去到都合のよい温度に長い間保たれる。また、コンデンサに貯わえるエネルギーを一定にしておけば、スクリーンは一定の温度上昇を行なうので、タイムスイッチなどの必要はない。

消去時間は最短 1 sec 程度までは可能であったが、ネサ膜の不均一や、その半導体性などのため、ときに急速な加熱操作によって、ネサ膜は部分焼損して破壊される。繰り返して安全に消去を行なうには 10~20 sec かけるのが望ましい。また、スクリーンの熱容量を考慮して再書き込みに移るまでには、消去後 10 sec 程度の冷却時間を設けたほうがよい。

写真 2 に記録画像を示す。これは膜厚 2 μ, 電子ビー

写真 2 蓄積像
Stored picture.

μ加速電圧 10 kV, 書込み時間 20 sec のもので、前述の KCl 用フィルターを通した光を用いて撮影した。一般に単色写真撮影や、光電管による読出しなどには、このようなフィルターを必要とするが、目に見える場合やカラーフィルムによる撮影などの場合には、色の情報 (KCl の場合 556 mμ の補色にあたる紫色) も入ってくるので、必ずしもフィルターの必要はない。特に目で映像を見るときは、白色光による照明が見やすい。

6. 記録速度

アルカリハライド蒸着面は、図 3～図 7 に示すような特性をもち、電子ビームに対してあまり高感度であるとはいえない。したがって、いかに早く記録するかは、電子ビームの電流密度に大きく依存する。表 3 に電子ビーム電流と電子ビーム径との関係を示す。

表 3 電子ビーム電流およびその直径
Electron beam currents and their diameters.

電子ビーム電流 (μA)	電子ビーム直径 (μm)	平均電流密度 (A/cm ²)	電子ビーム加速電圧 (kV)	注
10 ⁻⁷	5×10 ⁻³	0.5	25	走査形電子顕微鏡 ²¹⁾ サーモプラスティックレコーディング ²²⁾ ²³⁾ 高解像力ブラウン管 ²⁴⁾
1	5	5	10	
5	8	10	10	
10	10	13	10	
1.5	10	2	20	
50	50	2.5	25	

この表中、最大の電子ビーム電流密度を示す 10 μmφ, 10 μA の電子ビームを用い、500 本の解像力のあるコントラスト比 10 のテレビ画像を録画しようとする、最も感度の良い蒸着面を用いても 0.5 sec を要する。また、これらをデジタルな信号の記憶素子として使用するならば、コントラスト比を 2 として、最大限 1.5×10⁶ ビット/sec, 10⁶ ビット/cm² 程度までの記録が可能であろうと思われる。

図 9 蒸着角, 蒸着膜厚と透明度との関係
Evaporation angle and film thickness vs transparency.

7. KCl 蒸着面のその他の諸特性

7.1 透明度

可視光に対して透明なアルカリハライドも、電子ビームでの記録を目的とするような蒸着面とすると、その微結晶性のゆえに透明な面とはならず白濁する。KCl 蒸着面において蒸着角、および、蒸着膜厚を変化させたときの光の透過特性を図 9 に示す。光透過度の減少は、微結晶面で光が入射以外の方向へ散乱されるためである。したがって、このデータは測定系の支配を受ける。測定は F 中心濃度測定に使用したマイクロフォトメーターを用い、このときの対物レンズは、倍率 10 倍、N.A.=0.25, 計算による F 値は約 3.0 である。

7.2 解像力

フィルム面の解像力は、通常いろいろな幅とピッチをもった平行線を写し、どれだけ細い線まで分解できるかで表わす。また、近年になって、情報理論を応用したレスポンス関数で表わされることもある。KCl 蒸着面の解像力の測定にも、電子ビームによって F 中心を生成せしめ、この際、電子ビーム自身の像を入力とし、生成された F 中心による光学像を出力とする系の応答、すなわちレスポンスを求めることからレスポンス関数を求めることが考えられる。

しかしながら、實際上このようなことは容易にできないので、その代りここでは KCl 蒸着面上にナイフエッジを置き、これにフラットに電子ビームを照射して縁端のある F 中心を作り、これから得られるレスポンス²⁵⁾より電子ビーム記録面として用いる KCl 蒸着記録面の 1 次元のレスポンス関数を求めた。これを図 10 に示す。

試料は KCl 45° 蒸着、膜厚 0.794 mg/cm² - 4.19 μm のものであり、電子ビーム加速電圧は 20 kV である。実測に当っては、顕微鏡を介在させたマイクロセンシトメトリー法を用いている。使用顕微鏡対物レンズは、40

図 10 KCl 蒸着面に電子ビームで記録したときのレスポンス関数
Response function of KCl evaporated screen recorded by electron beam.

写真 3 500 メッシュの Ni マスクの蓄積像
Stored picture of a 500 mesh Ni mask.

図 11 面雑音特性
Characteristics of screen noise.

倍, $N.A=0.65$, 測定に使用した光は, 556 nm を中心とする半値幅 20 nm のものである。レスポンス関数の変化は, 膜面内における電子ビームの広がり, および, 入射光の横方向への散乱によって起こるものと思われる。

写真 3 に, 上記の試料に 500 メッシュの Ni マスクを使用して書込んだ F 中心像を示す。

7.3 面雑音

アルカリハライド蒸着面は, 微結晶性のゆえに, 微視的に見ると, 結晶面での反射屈折により光むらが生ずる。これは, 面雑音として取り扱うことができる。上記の試

料の F 中心の生成していない部分について, マイクロセンシトメトリ法により, 実効的に走査アパーチャーの直径を変えたとき, あるアパーチャー径に対し面を透過した光の最強のものと, 最弱のものとの比として求め, 次式のように面雑音 N を定義する。

$$N = \log_{10} \frac{\text{走査区間における最強の透過光}}{\text{走査区間における最弱の透過光}}$$

種々のアパーチャー径に対して求めた N の値を図 11 に示す。これから F 中心として記録された情報を有意性をもって読出すためには, 図 11 に示された N の値以上の, F 中心による光吸収濃度を得る必要がある。

8. む す び

以上述べたような特性をもつアルカリハライド蒸着面を用いた記録方式は, 構造の簡単さ, 解像力の良さ, 充分な記録時間 (KCl: 数週間, NaCl: 数カ月), 拡大投影が可能などの要素を考え合わせるとき, 電話線などを利用した低速走査画像伝送受像管などを初めとして, いろいろな記録素子となるであろう。最後に, 試作管の製作に協力された当所試作課の諸氏に感謝する。

(昭和 42 年 2 月 16 日受付)

(参 考 文 献)

- 1) E. Goldstein: Mon-ber Berliner A. K (1981) S 225
- 2) E. Goldstein: Ann d. physik chemie, **54** (1895) 371
- 3) E. Goldstein: Ann d. physik chemie, **60** (1897) 491
- 4) E. Goldstein: Nature, **94** (1914) 494
- 5) R. W. Sutton: Admiralty Signal Establishment, Extension Bristol, England
- 6) P. G. R. King and J. F. Gittings: J. IEE, **93** (1946) 822
- 7) A. H. Rosenthal: A System of Large-Screen Television Reception Based on Certain Electron Phenomena, Proc. IRE, **28** (1940) 203
- 8) S. Nozick: Recent Dark-Trace Tube Development, IRE Trans. on ED, Jan. (1956) 66
- 9) J. H. Schulman and W. D. Compton: Colour Centers in Solid, Pergamon Press, New York (1962)
- 10) Motto & Gurney (落合麒一郎他訳): イオン結晶論, 丸善 (1945)
- 11) T. Soller, M. A. Starr and G. E. Volley Jr.: Cathode Ray Tube Displays, McGraw-Hill Book Co., New York (1948) Chap. 18
- 12) E. Mollwo: Nachr. Ges. Wissen, Göttingen (1931) 97
- 13) R. C. O'Rourke: Absorption of Light by Trapped Electrons, Phys. Rev., **91** (1953) 265
- 14) M. Lax: J. Chem. Physik, **20** (1952) 1752
- 15) A. Smakula: Zeit. f. Physik, **59** (1930) 603
- 16) R. W. Pohl: Electron Conductivity and Photo-chemical-Processes in Alkali-Halide Crystals, Proc. Phys. Soc., **49** (extra part) (1937) 3-31
- 17) 宇野, 前田: アルカリハライド蒸着面を用いた記録方式—第 1 報, 昭 40 年通信学会全大予, 126
- 18) 宇野, 前田: 同上—第 2 報, 昭 41 年電気四学会連大予, 1482
- 19) 宇野, 川上, 前田: アルカリハライド蒸着面を用いた低速走査記録管, 第 2 回テレビ学会全大予, 2-3
- 20) A. E. Grün: Lumineszenz-photometrische Messungen der Energieabsorption im Strahlungsfeld von Elektronenquellen Eindimensionaler Fall in Luft, Z. für Naturforsch., **12a** (1957) 89
- 21) R. F. W. Pease and W. C. Nixon: High Resolution Scanning Electron Microscopy, J. Sci. Instrum., **42**, 2 (1965) 81
- 22) P. H. Gleichauf: A High-Resolution Electron Gun for Thermoplastic Recording Using Prefocus Deflection, IRE Trans. on ED (1962) 399
- 23) K. Schlesinger: A Microspot with Very High Resolution, IRE Trans. on ED (1962) 281
- 24) 別所, 赤木, 大石, 小楠: フィルム録画用新形ブラウン管, NHK 技術研究, **17**, 3 (1965) 203
- 25) 大上進吾: 通信路としての写真感光材料, 生産研究, **8** (1956) 324