



4.5

5.0

5.6

6.3

7.1

8.0

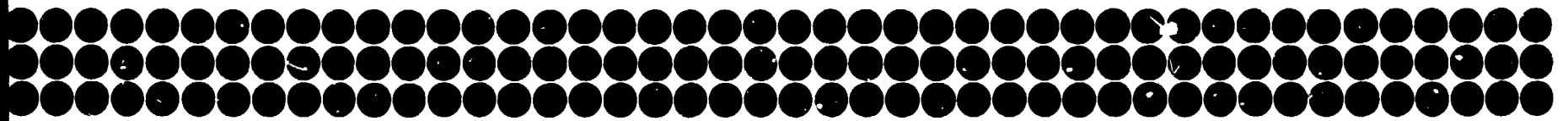


MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS - 1963

Comitato Nazionale Energia Nucleare

RADIOGRAFIA A COLORI: ESPERIENZA E VALUTAZIONI D'IMPIEGO

L. De Jaco, C. Cappabianca



Comitato Nazionale Energia Nucleare

**RADIOGRAFIA A COLORI: ESPERIENZA
E VALUTAZIONI D'IMPIEGO**

L. De Jaco, C. Cappabianca

RT/ING(70)26

Testo pervenuto il 6 novembre 1970

1. INTRODUZIONE

La radiografia in bianco e nero ha dimostrato in campo industriale una grande gamma di applicazioni nel controllo non distruttivo si che essa è da ritenersi tra le principali tecniche nei controlli. Anche nel campo medico è nota l'ampia diffusione dei controlli radiografici.

La radiografia in bianco e nero si esegue normalmente conoscendo già la natura dei materiali e gli spessori da esaminare in modo tale da poter definire i parametri relativi all'esecuzione del controllo.

Esiste infatti una corrispondenza tra parametri esecutivi, spessore da esaminare e caratteristiche fisiche del materiale si che la radiografia in bianco e nero ha delle limitazioni ove l'oggetto da esaminare presenti più spessori tra essi sensibilmente differenti o materiali di diverse caratteristiche di assorbimento o ancora ove si debbano controllare oggetti in cui alcuni spessori siano noti con incertezza o non noti.

La radiografia a colori correla alla variazione di spessore una gamma di colori alle cui variazioni l'occhio è più sensibile che alle variazioni di grigi che caratterizzano la radiografia in bianco e nero.

Si fa notare quindi il vantaggio dell'utilizzo della radiografia a colori ove per le caratteristiche dell'oggetto sarebbero indispensabili più pose che distribuirebbero le informazioni, se pure complete, su diversi documenti radiografici. In campo medico poi la ripetizione di rilievi radiografici sono

da sconsigliare per le dosi di x assorbite dal paziente.

2. STUDI SULLA RADIOGRAFIA A COLORI

In campo internazionale la radiografia a colori è oggetto di ricerche da parte di alcuni centri nucleari, da parte di centri di ricerche mediche e da parte di industrie del campo elettronico oltre che, s'intende, da parte delle case fornitrici di materiale sensibile.

A tal proposito si ricordano i laboratori nucleari di Harwell in cui l'utilizzo della tecnica è a livello di "routine" nel campo delle analisi dei componenti nucleari (elementi di combustibile) dopo irraggiamento essendo i materiali sensibili caratterizzati dall'essere poco sensibili alle radiazioni gamma rispetto alle x.

Negli Stati Uniti oltre ai centri di ricerca tecnologica molte industrie elettroniche sono interessate alla tecnica per i controlli su quei componenti che presentano molti tipi di materiali.

Nel nostro Paese è vivo l'interesse in campo medico e tra gli altri ricordiamo l'istituto di anatomia di Pavia e la clinica universitaria di Roma; altri istituti certamente stanno valutando l'impiego della radiografia a colori. Nel campo medico si ricorderà che nel 1966 al 44° congresso dell'associazione internazionale dei dentisti fu già presentata una memoria sulle applicazioni alla odontoiatria.

Anche le riviste tecniche hanno diffusamente trattato l'argomento, ricordiamo per tutte Materials evaluation rivista ufficiale dell'American Society for Nondestructive Testing .
Per altre informazioni si riporta un'ampia bibliografia.

3. LA RADIOGRAFIA A COLORI

Considerazioni di colorimetria

La sensazione di colore trasmessa dall'occhio al cervello è provocata dalla luce che colpisce l'organo visivo. La luce come è noto, considerata un insieme di onde elettromagnetiche, è caratterizzata da due grandezze fisiche

- la lunghezza d'onda
- l'intensità

tra le lunghezze d'onda comprese tra 0,4 e 0,75 μ è compresa la gamma dei colori che passano dal violetto al rosso mentre lo spettro continua nelle zone dell'ultravioletto e dell'infrarosso, campi non visibili. La struttura dell'occhio non realizza però una corrispondenza tra una coppia di valori di lunghezza d'onda intensità ed un colore percepito. Infatti coppie diverse di detti valori possono dare la stessa percezione di colore.

In colorimetria la percezione visiva viene infatti definita dalla combinazione di tre differenti grandezze:

- 1 - Tonalità: la lunghezza d'onda dominante tra le emesse di un corpo, normalmente chiamato colore (rosso, giallo etc.)
- 2 - Saturazione: percentuale della lunghezza d'onda dominante

rispetto alla totalità delle lunghezze d'onda considerate. Ogni colore può cioè variare da una saturazione nulla coincidente col bianco ed una saturazione massima coincidente con il colore puro.

3 - Brillanza: corrisponde al concetto di intensità della luce riflessa dal corpo ed è funzione della luce con cui lo si esamina.

La fig. 1 rappresenta geometricamente i tre parametri della percezione visiva. La fig. 2 illustra i concetti di brillanza e saturazione. La fig. 3 mostra la distribuzione dei colori nella tavola cromatica nel sistema C.I.E. (Commission International dell'eclatage).

4. LA RADIOGRAFIA A COLORI E QUELLI IN BIANCO E NERO

Nella radiografia in b. e n. l'osservatore deve interpretare differenze di brillanza tra il nero ed il bianco non entrano in giuoco né la tonalità né la saturazione. La radiografia a colori invece utilizza anche questi due parametri. Avremo quindi una maggiore analisi delle variazioni di spessore o di caratteristiche di assorbimento. Peraltro la r. a colori ha il vantaggio di una più ampia latitudine di posa (intendendo per questa l'attitudine di una pellicola a poter ricevere un campo d'energia) ampliando così la quantità di informazioni.

L'ampiezza d'intervento cioè della radiografia a colori copre largamente quella in b. e n. permettendo così la limitazione nelle pose da effettuare.

Le differenze operative tra le due tecniche non riguardano la macchina ma il materiale sensibile e i bagni di trattamento. Si ha così la possibilità di estendere alla rad. a colori l'attività di ogni laboratori di rad. b. e n. Consideriamo quindi le pellicole, la tecnica di ripresa, i bagni di sviluppo e loro utilizzo come gli aspetti che diversificano la rad a colori da quella in bianco e nero.

5. CARATTERISTICHE DEL MATERIALE SENSIBILE NELLA RADIOGRAFIA A COLORI

La pellicola a colori è costituita da tre strati sensibili sovrapposti stesi sopra un supporto di cellulosa. Le pellicole adoperate per la radiografia a colori sono quelle adoperate in fotografia per cui alcuni termini qui appresso usati per spiegare la sua costituzione sono impropriamente usati in quanto sono da riferirsi al campo fotografico.

Durante l'esposizione alla luce ogni strato è impressionato da colori distinti e precisamente:

- Il primo strato, quello più esterno, è sensibile al blu (emulsione di tipo normale).
- Il secondo strato è sensibile al verde ed al giallo (emulsione del tipo ortocromatico).
- Il terzo strato, che aderisce al supporto, è sensibile al giallo ed al rosso (emulsione del tipo pancromatico).

Tra il primo ed il secondo strato è steso un colorante giallo che ha lo scopo di fermare le radiazioni blu re-

sidue evitando quindi che queste vadano ad interessare gli strati successivi. In ciascuno di questi tre strati sono presenti dei copulanti (sostanze organiche che si trasformano in sostanze colorate durante il processo di sviluppo). Nello strato sensibile al blu vi è un copulante giallo. Nello strato sensibile al verde vi è un copulante blu-verde (magenta). Precisamente lo strato sensibile al blu darà colori gialli, quello sensibile al verde darà colori porpora (cyan) infine quello sensibile al rosso darà colori blu-verde. Allo scopo di realizzare una migliore differenziazione di colori si ricorre ad un processo di solarizzazione esponendo per pochi secondi la pellicola in fase di sviluppo ad un flash di luce colorata. Con la solarizzazione della pellicola si va ad impressionare, quindi maggiormente lo strato sensibile al colore prescelto. Se il tempo della solarizzazione non supera i 2-3 sec. non si ha alcuna perdita di dettagli dell'immagine precedente ma si ha invece la comparsa di due colori ben distinti, corrispondenti al differente assorbimento che radiazioni ionizzanti hanno avuto nell'attraversare l'oggetto da ispezionare.

6. TECNICA DI RIPRESA

La pellicola a colori è posta tra due schermi fluorescenti (blu) ad alta definizione e posteriormente, per eliminare la radiazione diffusa, viene messo uno schermo di piombo capovolto (cioè con la parete di supporto verso la pellicola) allo scopo di diminuire l'effetto fotoelettrico proprio di que-

sti schermi. Per il resto la tecnica di ripresa è uguale a quella della radiografia in b. e n.

7. TRATTAMENTO

Il trattamento seguito è quello consigliato dalle case fornitrici di materiale sensibile fatta eccezione per l'operazione di solarizzazione durante le operazioni di sviluppo. E' da considerare inoltre con particolare cura la stabilizzazione della temperatura dei bagni. Infatti non bisognerà superare nell'intervallo $\pm 0,3^\circ$ le temperature consigliate dalle case fornitrici del materiale.

La solarizzazione consiste nel sottoporre ad una sorgente luminosa la pellicola durante l'operazione di sviluppo onde esaltare la differenza di colore dovuta al fatto che essendo la luce colorata essa modificherà prevalentemente uno degli strati.

8. UTILIZZO SPERIMENTATO

Nella costruzione di complessi da montare nei reattori nucleari (destinati a misure o ad esperienze di ricerca è necessario per ragioni di sicurezza o per garantire che l'esperienza avvenga con apparecchiature idonee in ogni dettaglio) o per effettuare controlli su apparecchiature alla fine del loro impiego onde controllarne la geometria, la radiografia a co-

lori offre per le caratteristiche descritte una sicurezza d'in-
dagine che la fa preferire alla rad. in b. e n.

Abbiamo perciò utilizzato la r. a col. nel control-
lo di capsule destinate ad essere irraggiate in reattore in
cui erano presenti numerosi componenti di materiali e di spes-
sori diversi e in camere a fissione in cui la disposizione di
ogni dettaglio andava documentata.

Per avviare le prove è stato utilizzato un cuneo a
gradini di spessori tra i 2 e i 20 mm. E' stata così tra l'al-
tro evidenziata la peculiarità della rad. a colori che con una
sola posa ha permesso la valutazione di un ampio intervallo di
spessore tale che con la rad in b. e n. si sarebbe dovuto ope-
rare almeno con più pose.

Una applicazione interessante è stata realizzata pro-
prio nelle capsule per irraggiamento in cui si è potuto docu-
mentare l'avvenuto riempimento con Na e con buona approssima-
zione il suo livello.

9. PROVE ESEGUITE

Le prove eseguite erano indirizzate a ridurre i tem-
pi di trattamento senza ovviamente perdere in definizione, ve-
rificare l'influenza degli schermi salini sulla sensibilità del-
la pellicola ottenere due o tre differenti colori.

Sono stati impiegati due tipi di pellicole:

- pellicola diapositiva Dia 28 per luce diurna
- pellicola EKTACOLOR PRINT adatta per la stampa di diapositi

ve da negativi a colore.

Con il primo tipo di pellicola i migliori risultati
sono stati ottenuti trattando la stessa esattamente come
prevedeva la ditta fornitrice ed adottando gli schermi salini
per aumentarne la velocità. Con questo tipo di trattamento, (che
non prevede la solarizzazione) si sono ottenute delle buone ra-
diografie in cui però si avevano solo variazioni di saturazio-
ne del blu. I risultati sono indicati nelle fig. 4 e seguenti.
Nella fig. 4 si è radiografato un cuneo a gradini di acc. inox
dello spessore compreso tra i 2 e i 20 mm. Nella fig. 5 si può
osservare una camera di fissione nel cui interno vi sono numero
si componenti di spessore e quindi di assorbimento molto diffe-
renti, ma egualmente visualizzati. Nella fig. 6 è mostrata una
capsula per prove di irraggiamento costituita da un contenitore
esterno di acc. inox dello spessore di 0,3 mm nel cui interno vi
sono alloggiati due riscaldatori corazzati concentrici ed ancora
una tasca per l'alloggiamento di termocoppie.

Il secondo tipo di pellicola si è dimostrato più adat-
to allo scopo per cui era possibile solarizzare con luce gialla,
ad un certo punto della fase di sviluppo senza peraltro perder
in definizione. Le radiografie di fig. 7,8,9,10 mostrano il cuneo
a gradini con differenti tipi di trattamento durante la fase di
sviluppo ed i cui dati sono indicati nella tabella 1.

Si è notato che tempi di solarizzazione superiori ai
2 sec. sono da sconsigliarsi in quanto si perde in definizione.
Inoltre si può affermare che con esposizioni inferiori ai 100 Kv.
è consigliabile non adoperare gli schermi fluorescenti perchè l'in-

cremento di velocità non è rilevante ed in più si ha una migliore differenziazione dei colori. La fig. 11 e 12 mostrano la capsula per irraggiamenti già vista in fig. 6 ma sviluppata in modo differente.

Nella radiografia di fig. 13 sono visibili tre valvole termoioniche: quella in alto a destra ha un involucro metallico mentre le altre due sono in vetro. In questa radiografia è possibile notare, forse meglio che nelle altre la grande latitudine di posa di questo tipo di pellicola, potendo osservare contemporaneamente tutti i particolari dei numerosi componenti degli oggetti in esame (dal vetro ai conduttori in tungsteno).

Nella fig. 14 è mostrata una valvola motorizzata per ultravacuo; anche in questa radiografia si possono rilevare facilmente componenti di natura diversa.

Per evidenziare il confronto con i risultati ottenibili con la radiografia in bianco e nero si sono realizzate le radiografie di fig. 5A corrispondente alla fig. 5, fig. 10A corrispondente alla fig. 10, fig. 12A e 12B corrispondenti alla fig. 12, fig. 13A e 13B corrispondenti alla fig. 13, fig. 14A corrispondente alla fig. 14.

TABELLA N. 1

fig.n.	Pellicola	Kv	mA	I (min)	Schermi	T sviluppo	I solarizzazione	T sviluppo
4	DIA 28	100	6	4	salini+Pb	*	//	//
5	"	120	6	4	"	*	//	//
6	"	120	6	4	"	*	//	//
7	EXTACOLOR PRINT	100	6	4	"	11'	2"	1'
8	"	100	6	4	"	10'	"	2'
9	"	100	6	4	"	10'30"	"	1'30"
10	"	100	6	4	"	"	1"	"
11	"	120	6	4	"	"	2"	"
12	"	150	6	5	senza schermi	"	"	"
13	"	85	6	3	"	"	"	"
14	"	150	6	5	"	"	"	"

* come da specifiche della ditta fornitrice

10. POSSIBILITA' DI UTILIZZO

Riteniamo che la rad. a colori abbia una vasta gamma di conveniente utilizzo. Nei campi soprattutto in cui è necessaria una documentazione completa della situazione di componenti in cui si presentino spessori diversi o materiali diversi o in quelle applicazioni relative a componenti di pregio in cui la rilevazione globale sia un necessario controllo dell'accuratezza del montaggio.

Nel campo medico indubbiamente, per quanto esuli dalla nostra competenza, ci sembra debba avere largo impiego proprio perché il diminuito numero di pose permetterà di migliorare le conseguenze sul paziente dovute alle dosi di r. x assorbite.

Tornando al campo industriale, riteniamo che l'attuale scarso utilizzo è dovuto al livello soddisfacente raggiunto dalla radiografia in b. e n. per la massima parte delle applicazioni ma in avvenire sia nel campo dei controlli dei componenti elettronici sia nel campo delle indagini sui materiali irraggiati ed ancora in ogni applicazione in cui l'utilizzo del componente da esaminare sia previsto con strette norme di sicurezza (es. industria aeronautica) vi sarà un largo mercato di interesse.

11. CONCLUSIONI

La radiografia a colori indubbiamente presenta dei

notevoli vantaggi tecnici in riferimento alla maggior latitudine di rilevamento, al diminuito numero di pose e alla migliore leggibilità da parte dell'operatore. Queste condizioni possono in alcuni casi prevalere su considerazioni di puro bilancio economico. Non in molti casi però ancora. E' questo che ci ha interessato alla r. a c.: stimolare l'interesse nostro e di altri per ampliare quel mercato che giustificherebbe un interesse da parte dei produttori di materiale per radiografie. Non è peraltro da escludere, che la tecnica radiografica veda svilupparsi procedimenti più economici per la produzione del materiale sensibile e veda lo sviluppo tecnologico migliorare i tempi di sviluppo, sarà allora inevitabile un diffondersi della r. a c. che sul piano tecnico, come abbiamo cercato di provare, dimostra così ampio interesse si da consigliare già l'impiego in alcuni casi singolari.

BIBLIOGRAFIA

1. "Two-Color X-Radiographs", German Patent Application 713, 462 (Nov. 29, 1943)
2. G.E. Donovan, "Colour in Electron Microscopy and Radiography", Journal of Photographic Science, Vol. 4, 1955, p. 142-144
3. S.G. Ehrlich, "A Method of Multi-Color Radiography", Journal of the Biological Photographic Association Vol. 21, 1954, p. 15-16
4. A. Bryce, "Experimental Color Radiography", British Journal of Radiology, Vol. 28, No. 334, 1955, p. 552-553
5. J.M. Blum (Centre National De La Rech, Sci.), "Color Film for X-Rays", French Patent 1, 127, 106 (May 25, 1955)
6. Agfa A.G. Fur Photofabrikation, "Color Film for X-Radiography", Franche Patent 1, 095, 747 (March 16, 1953)
7. "Colored Radiographs", British Patent 752, 125 (March 16, 1953)
8. United States Radium Corp. (Europe), "Color Radiography", British Patent 806, 311 (Dec. 15, 1954)
9. L.J. Bonann, "Direct Color Radiography", American Journal of Roentgenology, Vol. 79, 1958, p. 331-341
10. S.J. Gross (General Aniline and Film Co.), "Color Film for Normally Invisible Radiation", U.S. Patent No. 2, 509, 766 (May 30, 1950)

11. S.H. Dowdy and L.J. Bonann, "Simulated Color Roentgenography", American Journal of Roentgenology, vol. 70, No. 4, 1953, p. 581-584
12. L.J. Bonann and A.H. Dowdy, "Log Etronic Simplification in Simulated Color Radiography", Radiology, Vol. 70, No. 4, 1958, p. 585-587
13. E.E. Sheldo , "color Projection of X-Ray and Other Images" British Patent 716,064 (April 10, 1952).
14. J.F. Fisher and J. Gershon-Cohen, "Television Technique for Contrast Enhancement and Color Translation of Roetgenograms", American Journal of Roentgenology, vol. 79, February, 1958, p. 342-347
15. B.M. Fine (Radiograph Development Corp.), "Multicolor Radiographs", U.S. Patent 2,644,095 (Feb. 2, 1948)
16. "Color Radiography", U.S. Patent 2,644,096 (Feb. 25, 1948).
17. S. Takahashi, "Color Roentgenography Method of Taking Colored Roentgenograms on Multi-Layer Color Film", Tohoku J. of Experimental Medicine, Vol. 56, 1952, p. 43-46
18. A.K. Schwerin (Gerard Lemeac-Vigneau), "Color Radiography Process", U.S. Patent 2,807,725 (Sept. 24, 1957)
19. G.W. Buckaloo and D.V. Cohn, "Color Autoradiography", Science, Vol. 123, Feb. 1956, p. 333.
20. J.C. Shepard et al., "Direct color Radiography", U.S. Army Medical Research Laboratory, Fort Knox, Ky., June 6,

- 1958, No. 315A.
21. N.S. Beyer, "New Techniques in Radiography", Proceedings of the Third Annual Symposium on NDT of Aircraft and Missile Components, Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, 1962
 22. "Color Radiography", Argonne National Laboratory, Rpt. 6515, Second Symposium on Physics and Nondestructive Testing, 1961
 23. C. Blackman, "An Evaluation of Color Radiography for Industrial Use: The Re-Exposure Method", Report No. WVT-11,6410, May, 1964. AMCMS Code No. 4440.23.2223.2.25, Watervliet, N.Y.
 24. R.W. Parish and D.A.W. Pullen, "The Development of Colour Radiography into a Routine Service at A.E.R.E. Harwell", British Journal of Nondestructive Testing, Vol. 6, No. 4, Dec., 1964
 25. W.J. McGonnagle and F. Park, "Nondestructive Testing", International Science and Technology, July, 1964, p. 14-27
 26. B. Ostrofsky, "Unusual Nondestructive Testing Techniques: Equipment, Applications, and Interpretations", Metals Engineering Quarterly: American Society for Metals, Aug. 1966, p. 9-17
 27. R.W. Parish and D.A.W. Pullen, "Recent Developments in the Radiography of Highly Radioactive Specimens at A.E.R.E. Harwell", British Journal of Nondestructive Testing, Vol. 7, March, 1965.

28. L.K. Wise, "Colour Radiography - The Photographic Considerations", British Journal of Nondestructive Testing, March, 1966, p. 25
29. J.M. Blais and A.K. Scherwin, "New Color Radiographic Process", The Focal Spot, Canadian Society of Radiology Technicians, 1954, p. 11, 65-66
30. N.S. Beyer, "Color Radiography", Second Annual Symposium on Physics and Nondestructive Testing, ANL-6515, Oct. 3-5, 1961, p. 203
31. N.S. Beyer and staff editor, "Color May Extend Radiography Uses", Chemical and Engineering News, Vol. 40, No. 12, p. 48
32. N.S. Beyer, "Watch for These New Nondestructive Testing Tools - Color Radiography", Steel-The Metalworking Weekly, Jan. 22, 1962, p. 62
33. T.H. Malim, Associate Editor, and N.S. Beyer, credited contributor, "Testing Blossoms Out Into Color", Iron Age, Jan. 27, 1966, page 73
34. Editorial Staff, "New NDT Methods Probe: The Look, Sound and Smell Quality", Steel-The Metalworking Weekly, Feb. 14, 1966, p. S-5
35. Materials evaluation - Agosto 1968 - Vol. XXXI No. 8
Margaret C. Ryan, "Color Radiography Research and Development in Color Radiography Beyer e Staroba"
36. 6° Seminario sulle prove non distruttive. Maggio 1969

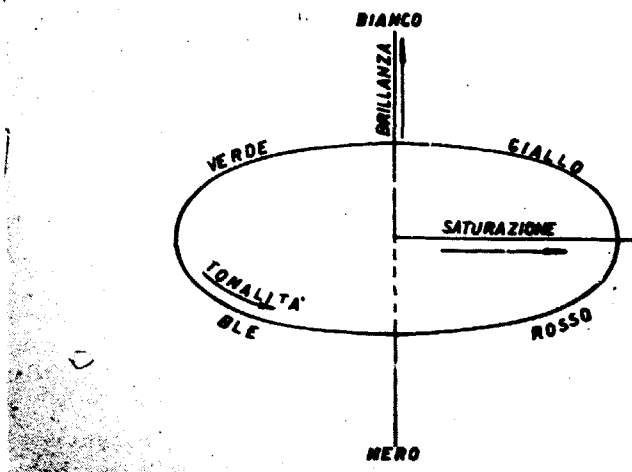


Fig. 1

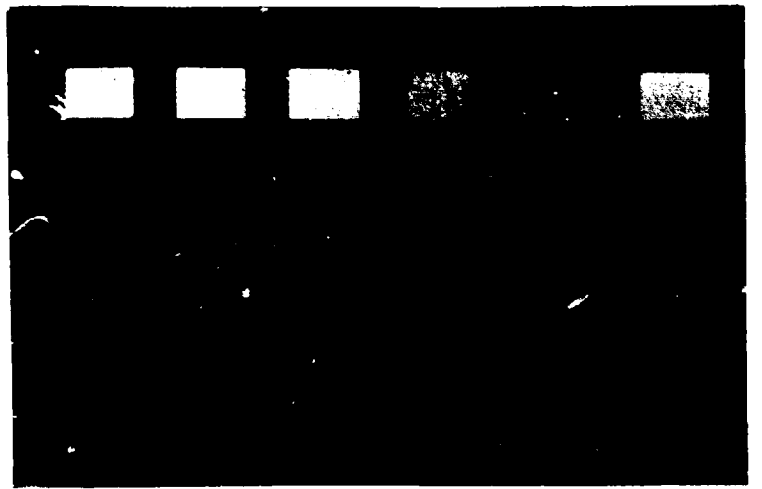


Fig. 2



Fig. 3

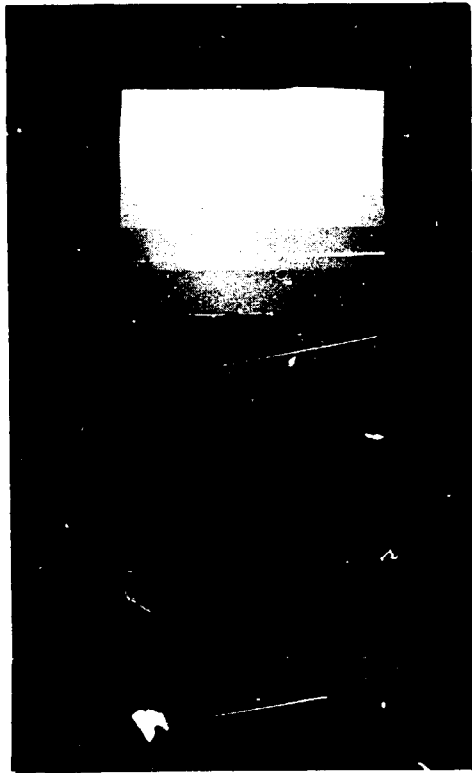


Fig. 4



Fig. 5

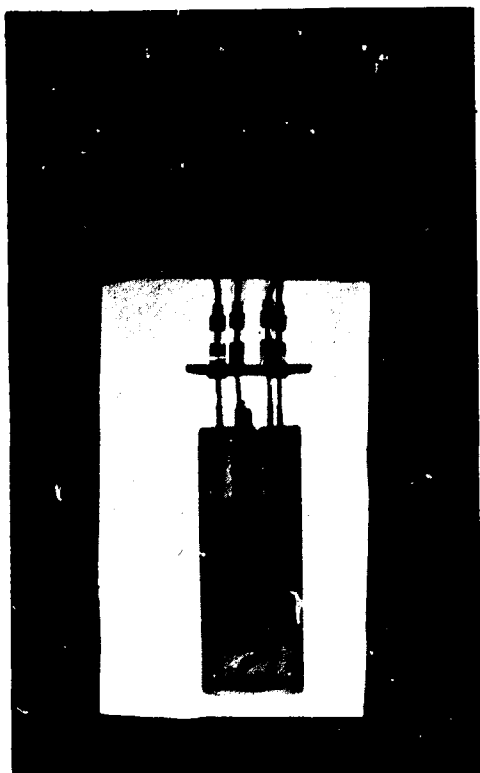


Fig. 6

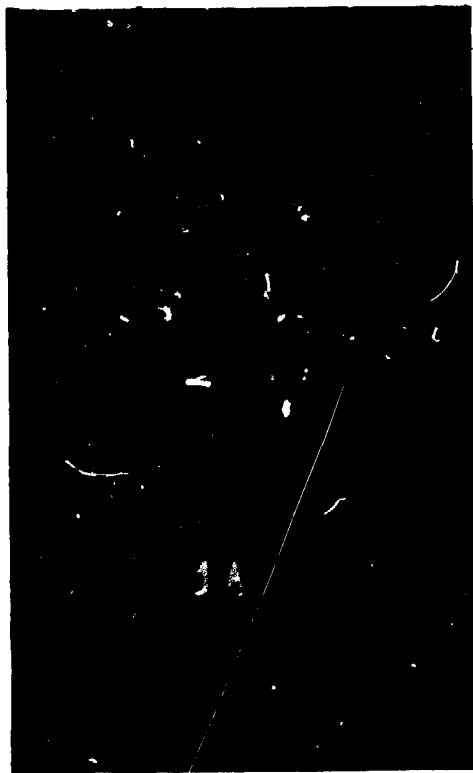


Fig. 7



Fig. 8

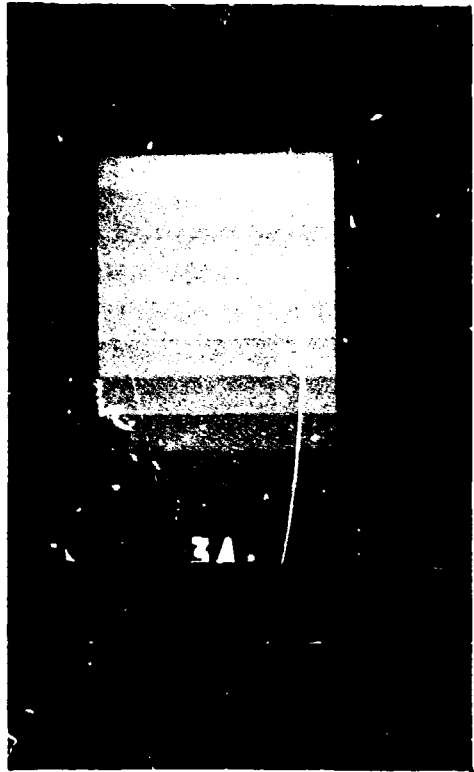


Fig. 9

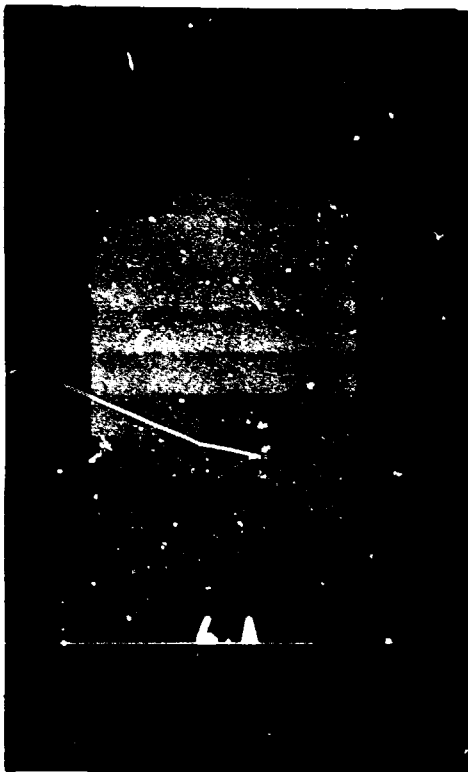


Fig. 10

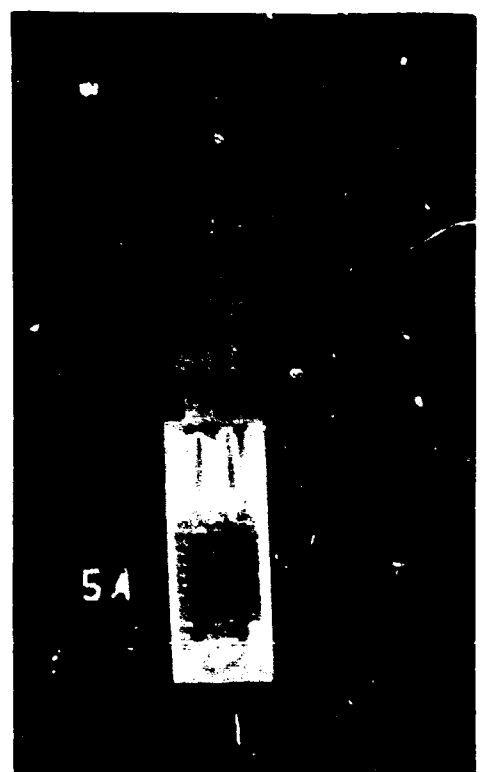


Fig. 11

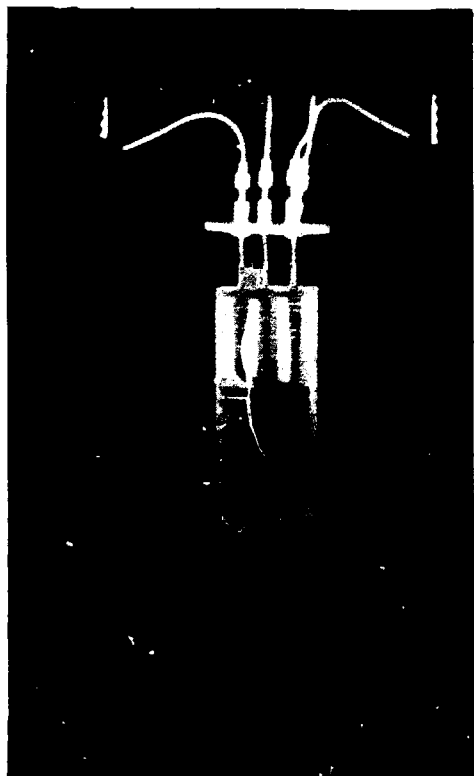


Fig. 12



Fig. 13

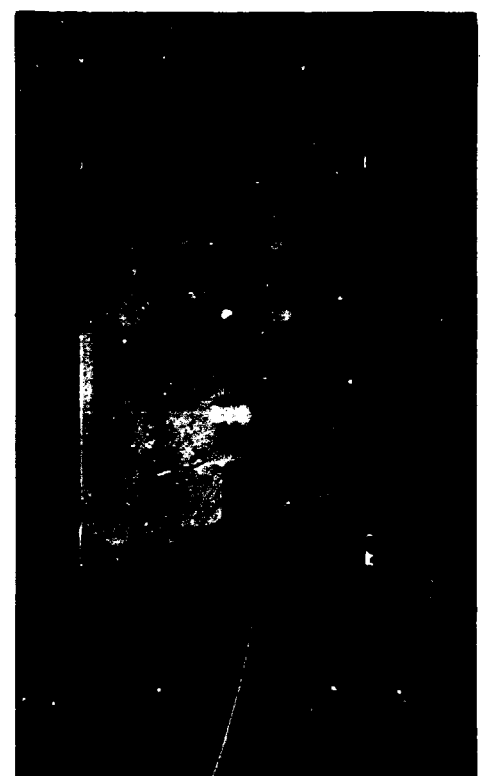


Fig. 14

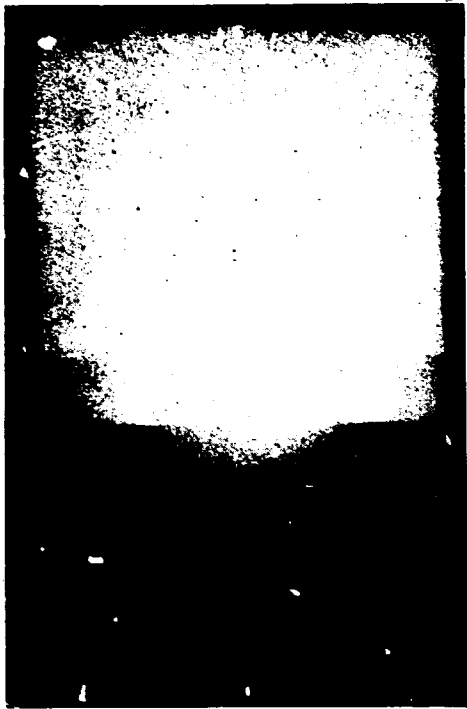


Fig. 15 (10A)



Fig. 16 (5A)

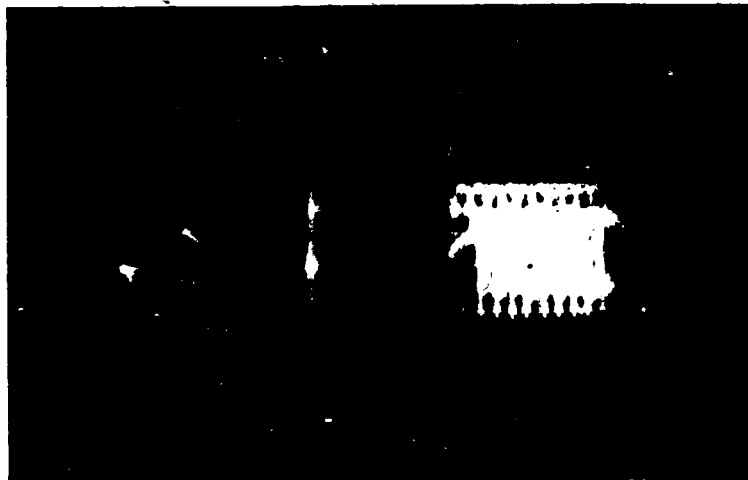


Fig. 17 (12A)

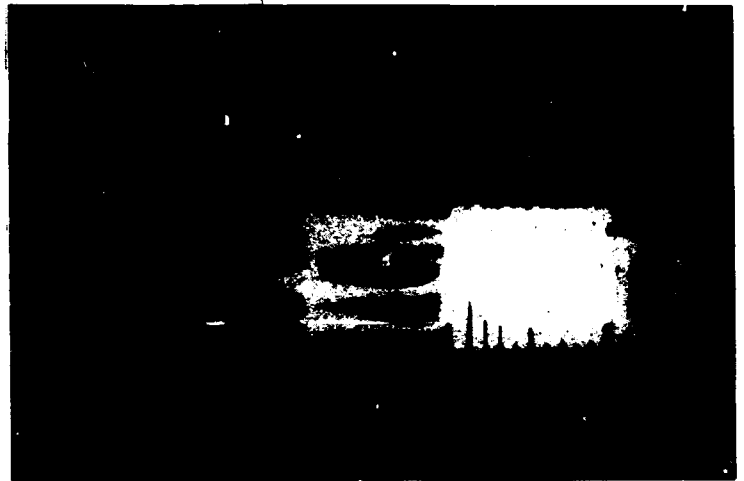


Fig. 18 (12B)

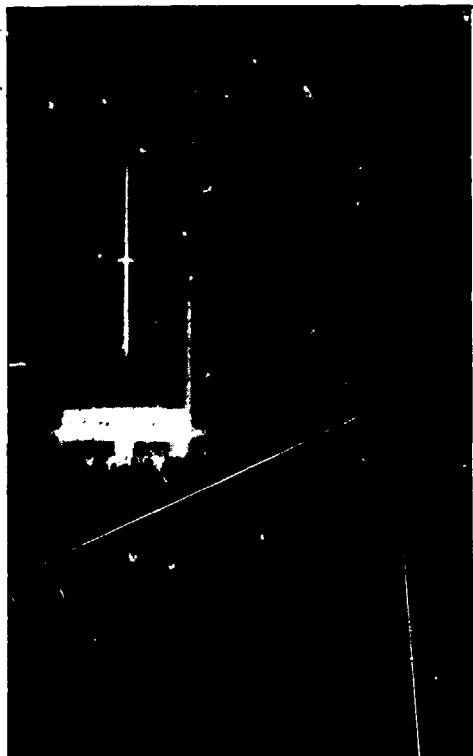


Fig. 19 (13A)



Fig. 20 (13B)

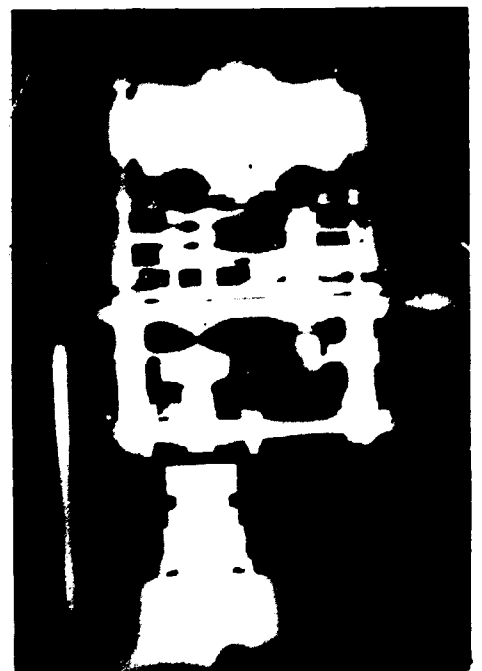


Fig. 21 (14A)

