

LNF-62/52

R. Habel e T. Letardi: CONVERTITTORE DI IMMAGINE MONOSTADIO
A FOCALIZZAZIONE MAGNETICA.

Nota interna: n° 143
18 Giugno 1962

LNF-62/52

Nota interna: n° 143
18 Giugno 1962

R. Habel e T. Letardi: CONVERTITORE DI IMMAGINE MONOSTADIO
A FOCALIZZAZIONE MAGNETICA.

Introduzione

Viste le sempre più interessanti possibilità di applicazione offerte dai dispositivi convertitori ed intensificatori di immagine⁽¹⁾, è stato formato presso i Laboratori Nazionali di Frascati del C.N.E.N. un gruppo di lavoro per lo studio e la realizzazione di tali dispositivi.

Si espongono i primi risultati ottenuti nella costruzione di un convertitore di immagine monostadio a focalizzazione magnetica.

Descrizione del convertitore

Il principio di funzionamento di un convertitore a focalizzazione magnetica è facilmente illustrato con l'aiuto della fig. 1.

Il convertitore è costituito da un involucro di vetro⁽¹⁾ in cui è praticato un vuoto molto spinto (migliore di 10^{-7} torr), con due finestre piane alle estremità^(2,3), sulle quali sono formate, rispettivamente, una superficie fotoemittente⁽⁴⁾ ed uno schermo fluorescente⁽⁵⁾. Tra queste

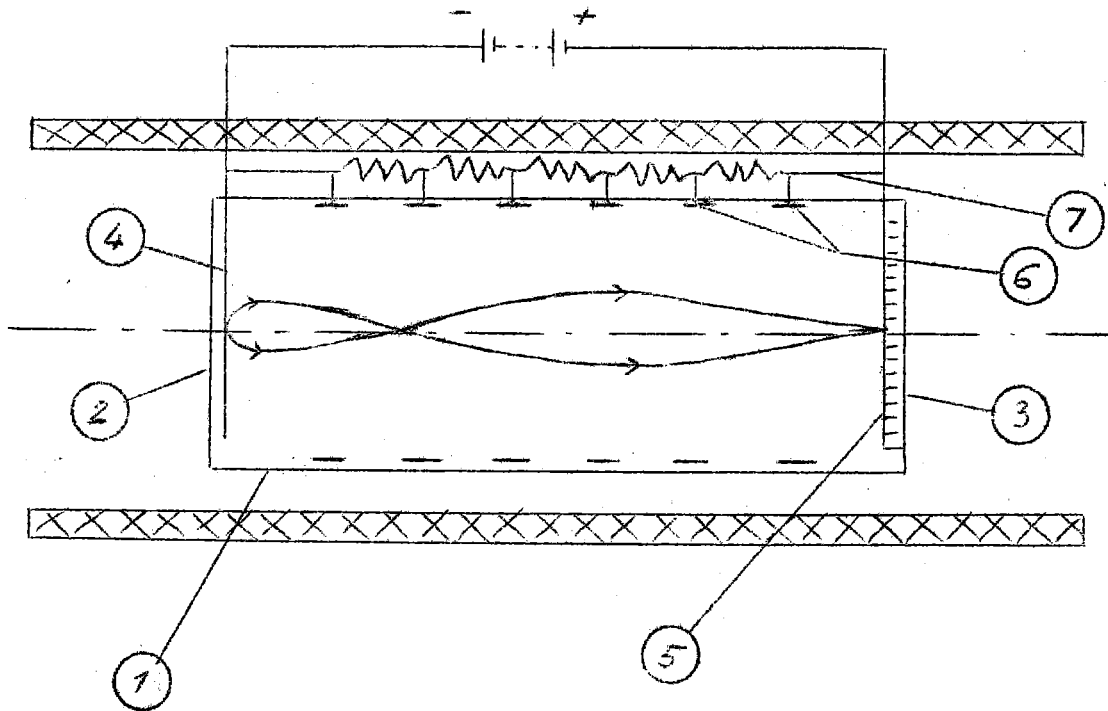


FIG. 1

due superfici viene stabilito, con l'aiuto degli anelli conduttori (6) tenuti a potenziali crescenti mediante il partitore (7), un campo elettrico uniforme con una differenza di potenziale massima che va dai 10 KV ai 25 KV. Un solenoide (8) genera un campo magnetico assiale uniforme su tutto il tubo.

Gli elettroni, emessi dal fotocatodo, percorrono per effetto del campo elettrico e magnetico cui sono sottoposti, una traiettoria ~~el~~elicoidale. La relazione tra differenza di potenziale V , induzione magnetica B e distanza d tra fotocatodo e schermo fluorescente, perchè si abbia la messa a fuoco è data dall'espressione

$$d = n \frac{\pi}{B} \left(\frac{2mV}{e} \right)^{1/2}$$

in cui n è il numero di rivoluzioni compiute dagli elettro-

ni nella loro traiettoria.

L'energia acquistata dagli elettroni a spese della differenza di potenziale V , viene ceduta allo schermo fluorescente e liberata in parte sotto forma di fotoni nello spettro visibile.

Appare subito evidente la possibilità, se l'efficienza di conversione del fotocatodo e dello schermo fluorescente sono sufficientemente grandi, e per appropriati valori del potenziale acceleratore, che un singolo fotoelettrone generi in uscita più fotoni di quanti non ne siano stati necessari, in entrata per liberarlo.

Guadagno

Una grossolana valutazione del guadagno quantico di un tale sistema può essere fatta al modo seguente: supponiamo di usare un fotocatodo di antimoniuro di cesio ($S_b C_{s3}$), con efficienza quantica del 5% per luce incidente con λ attorno a $4500 \text{ \AA}^{(x)}$ (risposta spettrale S9). Se la massima energia a cui vengono accelerati i fotoelettroni è di 20 KeV, e se il fosforo è del tipo $Z_n S - Ag$, con rendimento 20%⁽³⁾ e luce emessa attorno a 4500 \AA , cioè con una energia del fotone di $\sim 2,75 \text{ eV}$, si vede facilmente che per ogni fotoelettrone incidente, lo schermo libera circa 500 fotoni. Di questi, solo il 30% viene emesso in avanti. Un miglioramento di circa un fattore due⁽³⁾ si può ottenere ricoprendo la parte posteriore dello schermo fluorescente con una superficie altamente riflettente: p.es. un sottile strato di alluminio ($\sim 100 \text{ \AA}$).

(x) - I valori pubblicati delle sensibilità assegnate ad un dato tipo di fotocatodo variano considerevolmente. E' comunque possibile ottenere delle superfici $C_s S_b$ con efficienza quantica del 30%⁽²⁾.

Si avrebbero in tal caso in uscita circa 300 fotoni per fotoelettrone. Poichè, si è visto, in ingresso si ha un fotoelettrone ogni venti fotoni, il guadagno quantico totale si aggirerebbe, per illuminazione con luce monocromatica di 4500 Å, attorno a 15.

Questa valutazione è stata fatta, naturalmente, per una situazione non molto favorevole; in realtà, curando particolarmente il fotocatodo, si può contare ragionevolmente su valori compresi tra 20 ÷ 50 per il guadagno quantico⁽⁴⁾.

Potere risolutivo

Con il sistema focalizzante sopra descritto, se tutti gli elettroni provenissero da un punto del fotocatodo con la stessa componente della velocità normale alla superficie essi si troverebbero, con un corretto aggiustamento del campo magnetico, riuniti esattamente al punto corrispondente sullo schermo (il sistema ha ingrandimento unitario). In realtà si ha che gli elettroni sono emessi con uno sparpagliamento nell'energia di circa 1 eV. Questo fa sì che gli elettroni che sono emessi da un punto del catodo si focalizzano in un cerchio (disco di confusione) il cui diametro è dato da

$$D = \frac{V_{0 \max}}{V} d$$

se eV_{\max} è il massimo spread nell'energia degli elettroni, V è il potenziale acceleratore, d la distanza fra fotocatodo e schermo fluorescente.

Con i normali schermi ottenuti per sedimentazione un limite ben più stringente è dato dalla dimensione dei granuli del fosforo (2 ÷ 10 μ).

Con tali fosfori si possono ragionevolmente ottenere per la risoluzione sullo schermo fluorescente, valori tra 20 ÷ 50 coppie di linee/mm. Un sostanziale miglioramen-

to si ha con i fosfori evaporati, per i quali tuttavia, l'efficienza è notevolmente minore.

Realizzazione

Presso i laboratori di Frascati ci siamo proposti di realizzare un convertitore di immagine che servisse come studio preliminare per la successiva costruzione di un intensificatore a più stadi da usare in connessione con una camera a luminescenza e che potesse essere utilizzato indipendentemente come otturatore rapido o come tubo di memoria.

Le caratteristiche di questo tubo sono:

fotocatodo: circolare del diametro di 35 mm;

schermo fluorescente: anch'esso circolare e di pari diametro;

lunghezza: 80 mm;

struttura: vetro metallo;

superficie sensibile: C_s-S_b ;

schermo fluorescente: $Z_n S-Ag$;

tensione massima: 15 KV.

Costruzione dell'involucro

L'involucro, illustrato in fig. 2, è stato realizzato saldando tra loro gli anelli di vetro⁽¹⁾ e gli anelli di metallo⁽²⁾. Il vetro usato è il tipo 8243 della Jenaer Glass werke-Schott mentre gli anelli di metallo sono in Vaccon 12 della VacuumSchmelze Hanau.

Si è adottata la struttura ondulata, secondo quanto già fatto dal gruppo di Bonn, per aumentare la lunghezza della parete in modo tale da prevenire scariche superficiali all'interno del tubo, tra due anelli metallici consecutivi.

La saldatura viene effettuata al modo seguente: gli anelli vengono assiemati, dopo essere stati accurata-

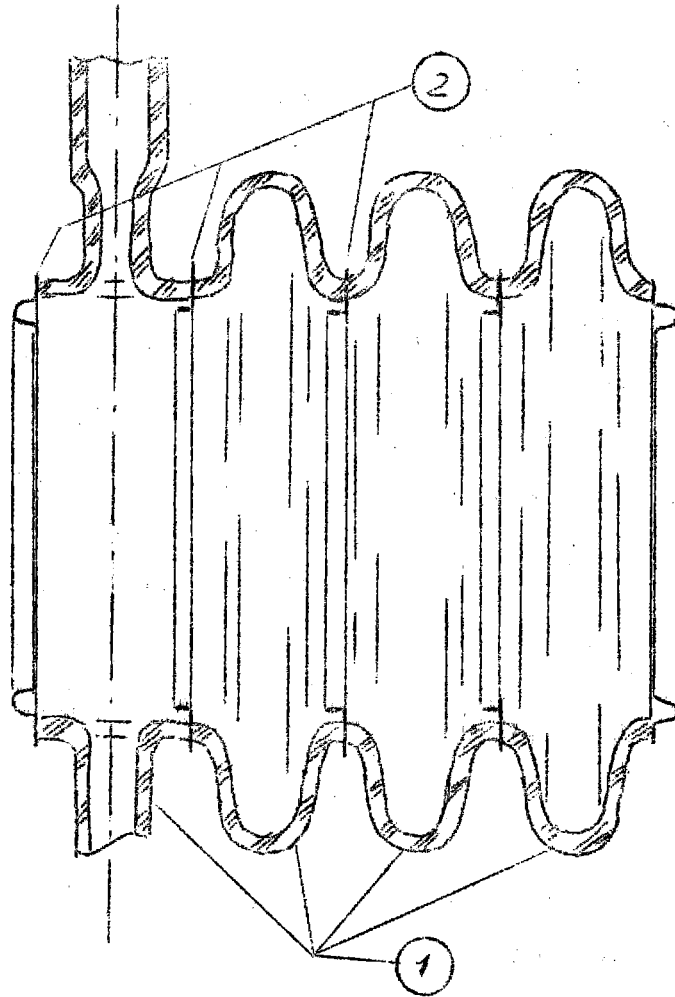
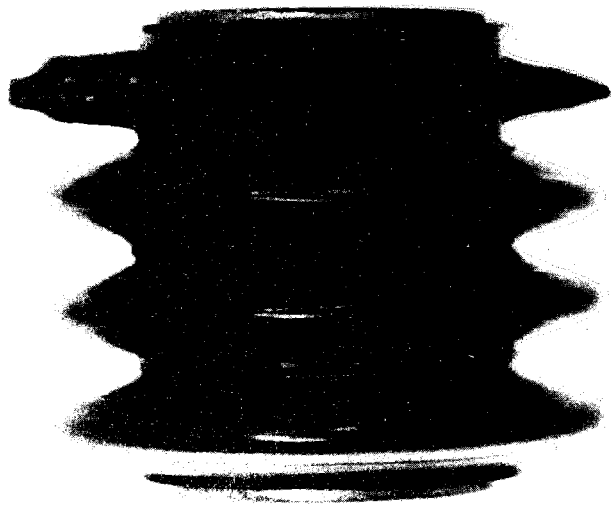


FIG. 2

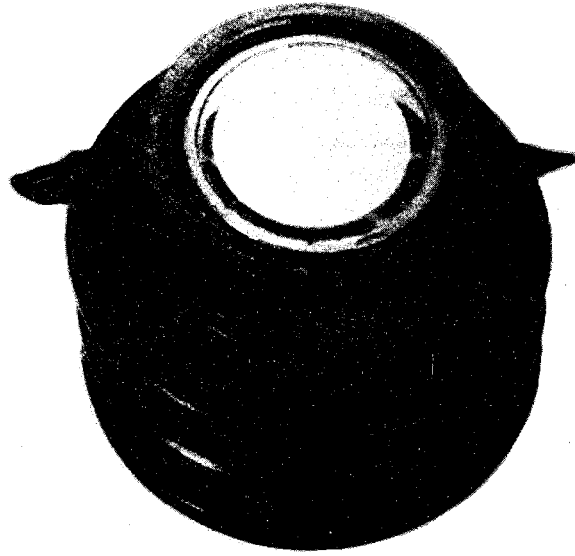
mente sgrassati, e quindi preriscaldati fino a raggiungere la temperatura di trasformazione del vetro. Gli anelli metallici sono quindi riscaldati con un forno ad induzione fino ad ottenere la perfetta saldatura fra vetro e metallo. Il tubo saldato viene poi lasciato raffreddare lentamente in forno.

Preparazione dello schermo fluorescente

Lo schermo fluorescente viene ottenuto lasciando sedimentare una polvere di $Z_nS - Ag$ su una delle superfici piane che terminano il tubo, e precisamente quella che termina l'anello cilindrico (v. fig. 3a). Il procedimento è il seguente. Dopo aver saldato la finestra piana all'anello ci



a)



b)

FIG. 3

lindrico, si evapora all'interno una corona circolare di alluminio per assicurare il contatto elettrico tra anello metallico e vetro (v. fig. 3b).

Come letto per la sedimentazione si usa una soluzione di $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ allo 0,037% in peso. Il fosforo viene aggiunto in ragione di 3 mgr/cm^2 di superficie da ricoprire, ad una soluzione di K. Silicato allo 0,18% in peso e mescolato in un mulino a palle per circa 20 minuti.

La miscela viene quindi filtrata in un passino con maglio di circa 30μ .

Si mescola poi la sospensione di fosforo con la soluzione di $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Dopo circa 30 minuti si rimuove la soluzione aspirando con una pompa ad acqua, e si lascia essiccare per circa 12 ore. Il fosforo viene quindi cotto a 350°C per circa 30 minuti.

Sulla superficie così ottenuta occorre evaporare un sottile strato di alluminio che ha il duplice scopo di riflettere la luce emessa all'indietro e di fissare il potenziale del fosforo a quello dell'anodo.

In sua assenza infatti gli elettroni incidenti sul fosforo, data la debole conduttanza di esso, ne potrebbero abbassare notevolmente il potenziale rispetto all'anodo.

Per ottenere un buono strato riflettente, l'alluminio non deve essere evaporato direttamente sul fosforo, ma su una sottile foglia di cellulosa preparata in precedenza sullo schermo.

La foglia si prepara facendo espandere una goccia di soluzione di nitrocellulosa in alcool e butil-acetato, sopra la superficie dell'acqua sotto cui è posto in precedenza lo schermo fluorescente (v. fig. 4).

Lo spessore della foglia, che deve essere di circa $0,5 \mu$, si controlla osservando il numero delle frange di interferenza della luce riflessa dalla parte superiore e in

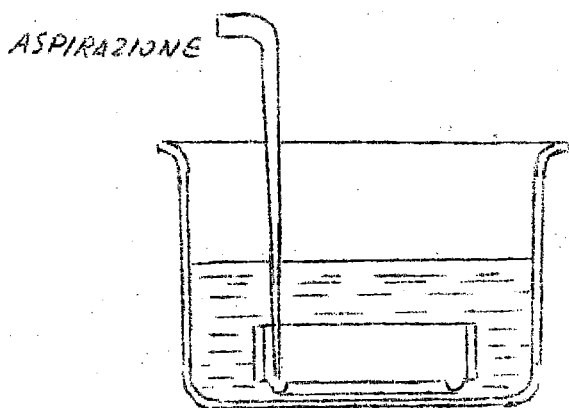


FIG. 4

feriore dello strato. Tale numero non deve essere superiore a due o tre. L'acqua viene poi pompata lentamente con una pompa ad acqua, e si lascia essiccare per un paio di giorni. Su questo strato di cellulosa viene quindi evaporato sotto vuoto, lo strato riflettente di Al. dello spessore di $\sim 100 \text{ m}\mu$. Il supporto di cellulosa, una volta evaporata la foglia di alluminio, viene eliminato riscaldando tutto ad una temperatura di 350°C . A questo punto lo schermo fluorescente è pronto, ma prima di essere montato se ne controlla il colore, che potrebbe essere alterato a causa dei trattamenti subiti, e l'uniformità con un cannoncino elettronico.

Preparazione di fotocatodo

Il fotocatodo è la parte più delicata del convertitore, sia perchè ne può limitare la durata, se non è stata osservata la più scrupolosa pulizia, in quanto è facilmente soggetto ad avvelenarsi, sia perchè nei processi a bassi livelli luminosi (p.es. nell'uso del convertitore accoppiato alle camere a luminescenza o come memoria di un contatore di C) limita l'informazione estraibile dal processo in modo analogo al ruolo assunto dal fotocatodo in un fotomoltiplicatore usato come spettrometro.

Pertanto prima di iniziare il processo di formazio

della superficie fotoemittente, il tubo viene accuratamente degassato, ad una temperatura di 350° per un tempo non inferiore alle 12 ore.

All'inizio del processo di formazione, la pressione nell'involucro è dell'ordine di 10^{-8} torr.

La risposta del fotocatodo dipende, ovviamente, dagli elementi scelti per costituire la superficie fotosensibile, e anche del vetro usato per la finestra. Con un vetro normale, e con antimoniuro di cesio quale sostanza fotosensibile, si ottiene una curva di sensibilità del tipo illustrato in fig. 5, risposta $S9^{(x)}$, con un massimo attorno ai 4500 \AA .

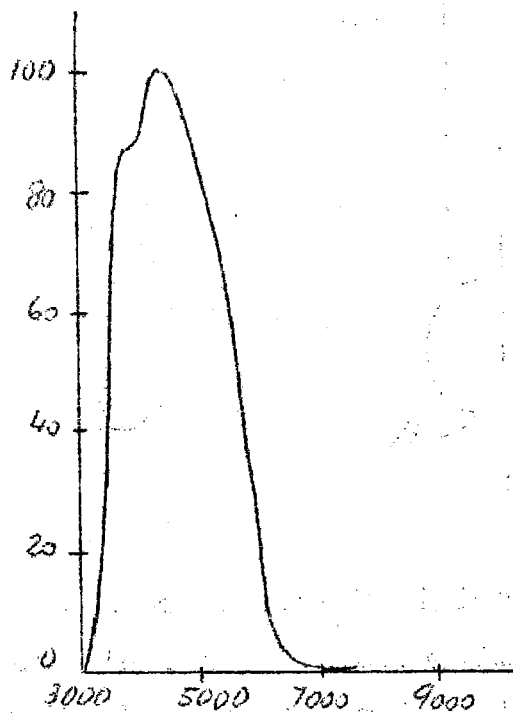


FIG. 5

Il cesio, metallico, non è stabile in presenza di ossigeno, e quindi deve essere preparato e manipolato sotto vuoto. Inoltre si devono evitare, quanto più possibile, trac

(x) - La denominazione corrente è S9 per $S_b C_s$ e S11 per $S_b C_s - O$; le due caratteristiche sono simili.

ce di impurità, che facilmente avvelenano il fotocatodo.

In genere si ricorre a due possibili soluzioni: preparare il cesio direttamente nel corso della formazione del fotocatodo, oppure usare del C_s contenuto in ampolline sotto vuoto e liberarlo al momento dell'uso, attraverso una appendice sottile rotta con una ancorina metallica manovrata per mezzo di un magnete permanente (v. fig. 6).

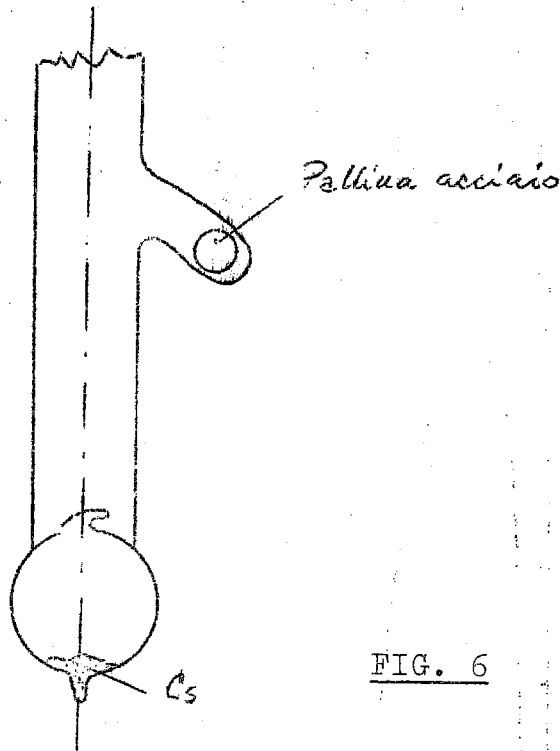


FIG. 6

In entrambi i casi il C_s viene preparato per riduzione di uno dei suoi sali, p.es. il cesio bicromato. Si mescola allora qualche decina di mgr di sale di C_s con una eguale quantità di silicio in polvere e si pone in un crogiuolo di Nichel chiuso con un coperchio (v. fig. 7).

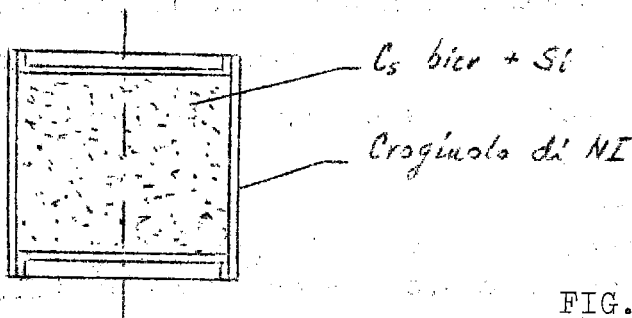


FIG. 7

Le capsule così ottenute sono poste in una ampolla nella quale viene fatto il vuoto; riscaldate al momento opportuno per induzione, esse liberano dei vapori di C_s nella ampolla essendo il sale di cesio ridotto dal silicio.

Delle due soluzioni abbiamo scelto la seconda. Il C_s pertanto viene distillato in fialette simili a quella illustrata in fig. 6 dopo che queste sono state degassate per qualche ora ad una temperatura di $450^{\circ}C$.

L'insieme dell'apparecchio per la distillazione del C_s è illustrato schematicamente in fig. 8.

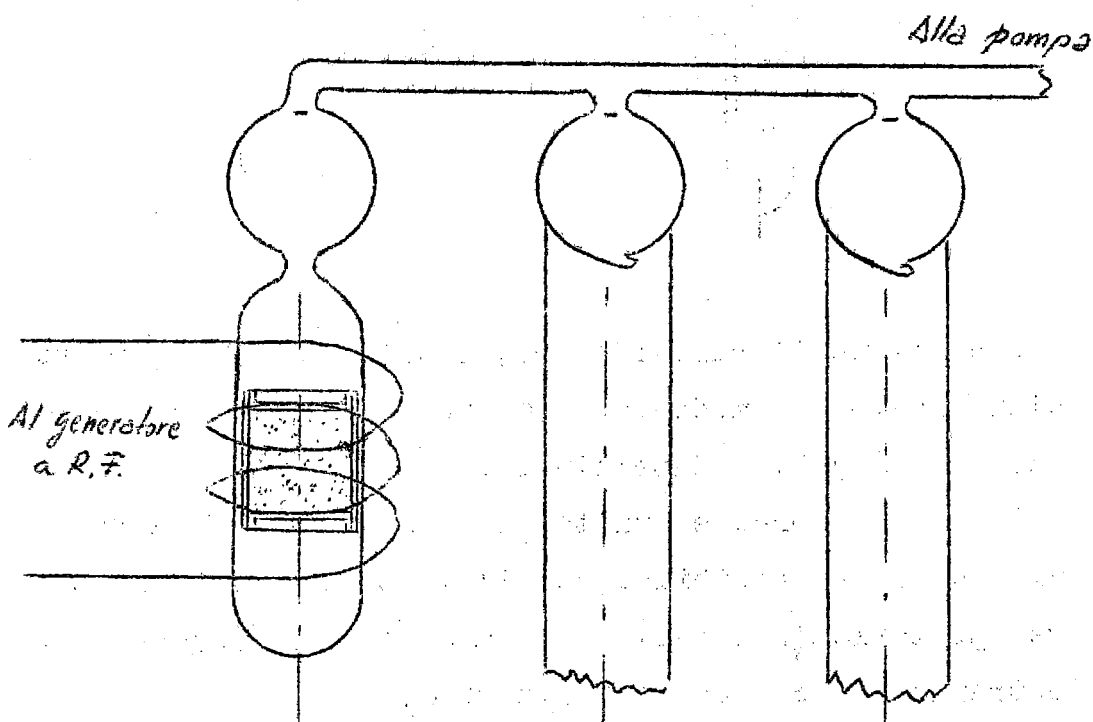


FIG. 8

La preparazione del fotocatodo avviene nel modo convenzionale. Si evapora sulla superficie da rendere fotomittente, uno strato di antimonio che poi viene attivato immettendo all'interno del bulbo il vapore di

La sorgente di Sb è del tipo a sonda. Il tubo (v. fig. 9) è munito di un'appendice laterale, perpendicolare all'asse, nella quale può scorrere la sonda (v. fig. 10),

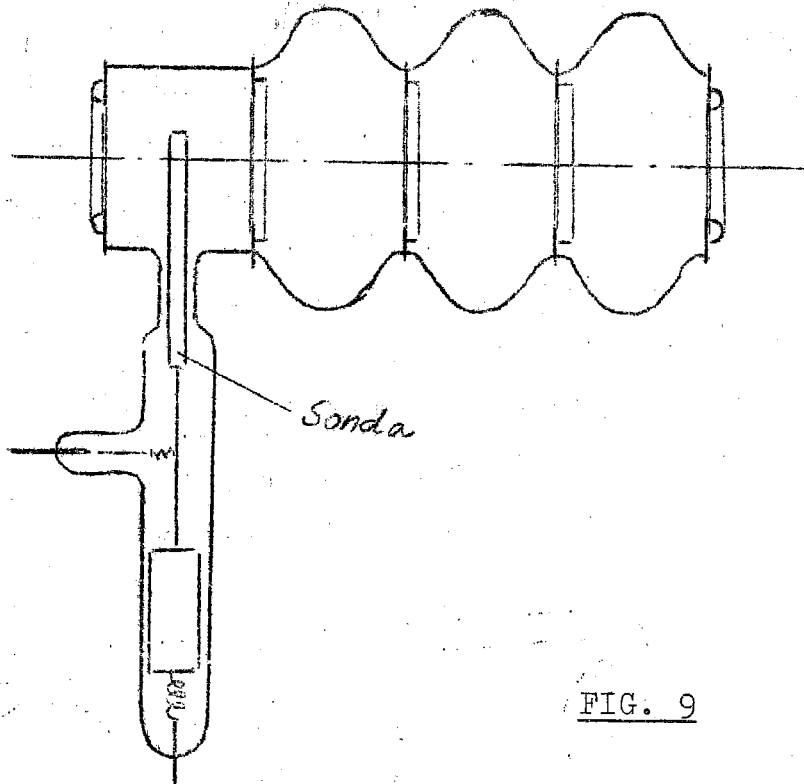


FIG. 9

che contiene il riscaldatore; l'antimonio è opportunamente diaframmato in modo tale da avere un fascio molecolare di apertura angolare determinata.

La sonda è munita di un'ancorina di ferro grazie alla quale è possibile, con l'aiuto di un magnete permanente, portarla in posizione al momento dell'evaporazione, ed estrarla quando questa è ultimata.

L'appendice laterale viene, ad operazione ultimata, chiusa alla fiamma.

La quantità di antimonio evaporata deve essere accuratamente dosata.

Pertanto la finestra viene illuminata dalla parte posteriore, con una piccola lampada posta tra due corrugazioni del tubo e la luce trasmessa viene misurata da una cella fotoelettrica. Lo spessore di antimonio evaporato può oscillare fra valori corrispondenti a trasmissioni comprese tra 10 + 30% per luce bianca⁽⁵⁾.

Evaporato l'antimonio si procede alla sua attivazione con il Cs.

Il Cs viene immesso nell'involucro, portato ad una temperatura di 130°C , rompendo la codetta della fiala che lo contiene con una pallina di acciaio manovrata dall'esterno con una calamita. Nel corso dell'attivazione del fotocatodo viene misurata la sua sensibilità fotoelettrica. Il riscaldamento viene interrotto allorchè la sensibilità, dopo aver raggiunto un massimo, è diminuita del 10%. L'operazione si ripete più volte. Al termine il tubo viene isolato dalla pompa, chiudendo alla fiamma l'appendice che li collega.

Risultati sperimentali

Abbiamo sino ad ora costruito tre convertitori monostadio, ma solo per il primo è stata portata a termine una completa serie di misure per rilevarne le caratteristiche che possiamo così raggruppare.

- a) Curva di sensibilità spettrale ed efficienza quantica del fotocatodo.
- b) Spettro di emissione e potere risolutivo dello schermo fluorescente.
- c) Guadagno quantico.

Sensibilità del fotocatodo

La misura di sensibilità del fotocatodo è stata eseguita, nelle diverse zone dello spettro, usando come sorgente luminosa una lampada a nastro a 2870°K ; ed una serie di filtri interferenziali.

L'energia luminosa incidente sul fotocatodo era misurata con una termo-pila. I risultati di queste misure (v. tab. I) sono riportati nel grafico di fig. 11 e confrontati con i valori ottenuti con lo stesso metodo sul fotocatodo di

TABELLA I

λ	$\delta(\lambda)_{\text{conv}} \left(\frac{\mu A}{\mu W} \right)$	$\delta(\lambda)_{6342A} \left(\frac{\mu A}{\mu W} \right)$	$\delta(\lambda)_{56AVP} \left(\frac{\mu A}{\mu W} \right)$
4010	0.027	0.024	0.024
4220	0.029	0.026	
4330		0.027	0.027
5340	0.031	0.028	0.028
4630		0.027	0.026
4870	0.030	0.026	
5220	0.024	0.021	0.023
5850	0.007	0.007	0.006
6360	0.0003	0.0010	0.001

due fotomoltiplicatori commerciali (56 AVP, 6342 A). Si può vedere che la sensibilità (del 56 AVP) o del convertitore è maggiore di quella del 6342 A e del 56 AVP, nel bleu mentre risulta inferiore nel rosso. Questa maggiore sensibilità nel bleu può dipendere da un più appropriato valore dello spessore dello strato di antimonio evaporato. Infatti osservando il grafico di fig. 12 in cui sono riportati i risultati di alcune misure⁽⁵⁾ dell'efficienza di un fotocatodo Cesio-Antimonio in funzione dello spessore originale dello strato di Sb, per tre diverse illuminazioni, si vede che alle basse lunghezze d'onda la risposta cade più rapidamente allorchè lo spessore dello strato di antimonio è variato rispetto al valore di optimum.

La sensibilità del fotocatodo di questo primo tubo è, sul massimo, di $\sim 0.030 \mu A/\mu W$.

La sua efficienza quantica è cioè per $\lambda = 4500 \text{ \AA}$

circa 0.05.

Potere risolutivo

Il potere risolutivo è stato determinato, proiettando sul fotocatodo dei reticoli di passo noto, e osservando le righe, sullo schermo fluorescente con un microscopio. Siamo riusciti a risolvere fino a 17,5 coppie/mm.

Poichè i reticoli usati erano fotografici e non incisi, il cattivo contrasto ottenibile non ha permesso di eseguire misure con reticoli aventi un maggior numero di righe. Possiamo quindi solo dire che il tubo ha un potere risolutivo non inferiore a 17.5 coppie/mm.

Per rilevare le distorsioni del tubo ci siamo serviti di un opportuno test fotografico (v. fig. 13a). Nella fig. 13b è riportata una fotografia del test presa attraverso il convertitore di immagine.

Nella fig. 14 è riportato il risultato dell'analisi spettrale della luce emessa dal fosforo di questo primo tubo.

Come si può facilmente vedere la fluorescenza è bleu-verde. Si può ragionevolmente pensare che il verde, non presente nelle polveri originali, sia dovuto a tracce di rame nell'acqua distillata commerciale usata per le soluzioni di sedimentazione di questo primo schermo.

Per gli schermi dei tubi successivi, infatti, è stata usata acqua distillata in vetro, i fosfori non hanno mutato il loro spettro di emissione P11. In fig. 15 riportiamo lo spettro di emissione, per il tipo di polvere da noi usato^(x) come è dato dalla casa produttrice.

(x) - K₁ blau/1 della Leuchtstoffwerk GmbH-Heidelberg.

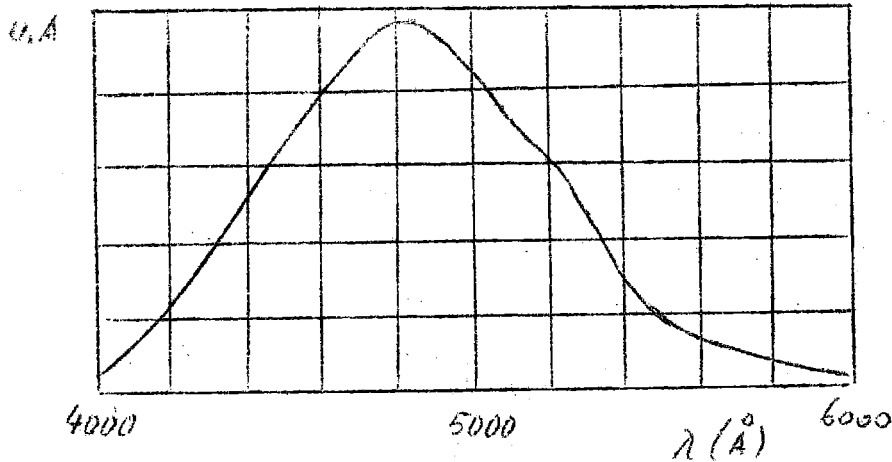


FIG. 15

Guadagno quantico

Il guadagno viene dato come rapporto tra energia ir radiata dallo schermo fluorescente ed energia incidente nel fotocatodo, per una determinata lunghezza d'onda.

$$G(\lambda) = \frac{W_r(\lambda)}{W_e}$$

Poichè le misure sono eseguite a flussi luminosi molto bassi, non è stato possibile misurare direttamente la energia incidente ed emergente con una termopila. Abbiamo quindi dovuto tarare una cellula fotoelettrica per confronto con la termopila.

Questo ha portato delle notevoli complicazioni; infatti mentre per la luce incidente è stato sufficiente usare, in connessione con i filtri interferenziali prescelti, una lampada al tungsteno di potenza tale da entrare nel campo di misura della termopila, per la taratura della foto cellula sulla luce di uscita abbiamo dovuto ricostruire una sorgente luminosa ad alta intensità e con distribuzione spettrale uguale a quella del fosforo.

Nella fig. 14 è riportata, insieme all'analisi spettrale del fosforo, quella della lampada che abbiamo usato

per la taratura della foto cellula. La F.C usata è un 6342A che lavora con tutti i dinodi collegati fra loro e all'anodo.

Con il F.M. così tarato, è stata eseguita la misura di guadagno. Naturalmente in queste condizioni non è possibile dare un valore che sia più che approssimativo. Si può comunque valutare il guadagno di questo primo tubo, nel massimo, circa 5.

Un valore così basso, rispetto a quanto ci si può aspettare tenendo conto dell'efficienza quantica del fotocatodo può essere giustificato solo ammettendo un deterioramento del fosforo in seguito ai trattamenti subiti nel corso della preparazione del foto tubo.

Conclusione

La realizzazione di questo primo gruppo di convertitori è servita per mettere a punto le tecniche di costruzione da una parte, e le tecniche di misura dall'altra. Attualmente abbiamo in costruzione un gruppo di altri tre tubi le cui caratteristiche dovrebbero essere notevolmente migliorate. Una cura particolare è stata posta nella preparazione degli schermi fluorescenti che possono notevolmente compromettere la riuscita di un convertitore, sia per quanto riguarda la risoluzione che per il guadagno totale.

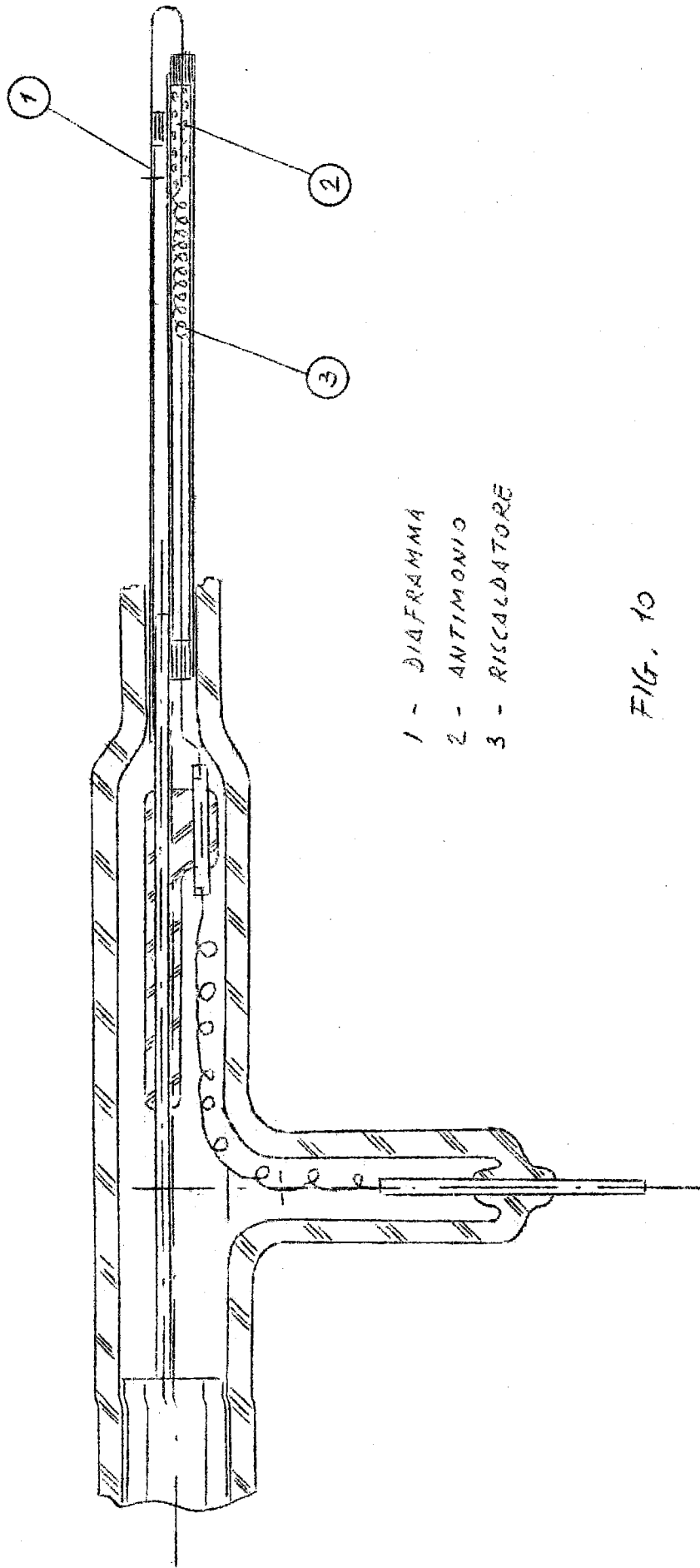
Ringraziamenti

Ci è gradito ringraziare il dott. U. Ascoli e la D.ssa I. Morsellino del Laboratorio Gas Ionizzati per gli utili suggerimenti e la preziosa collaborazione nella esecuzione delle misure fotometriche.

Un particolare ringraziamento al dott. O. Gildemeister dell'Università di Bonn della cui esperienza abbiamo fatto largo uso.

Bibliografia

- (1) - J.O. McGee: Photoelectronic image intensifiers - Rep. on Progr. in Phys., XXIV (1961)
- (2) - V.K. Zworykin and E.G. Ramberg: Photo Electricity (J. Wiley & Sons - New York) Cap. 3
- (3) - A. Brill and H.A. Klasens: Intrinsic Efficiencies of Phosphors under cathode-Ray Excitation - Philips Res. Rep. 6, 402 (1952)
- (4) - L. Mandel: Realizable light gain in photoelectronic image intensifiers
- (5) - M. Rome: Relation of Antimony transmission and the photoelectric yield of Cs-Sb - J. Appl. Phys. 26, 166 (1955)



- 1 - DIAFRAMMA
- 2 - ANTIMONIO
- 3 - RISCALDATORE

FIG. 10

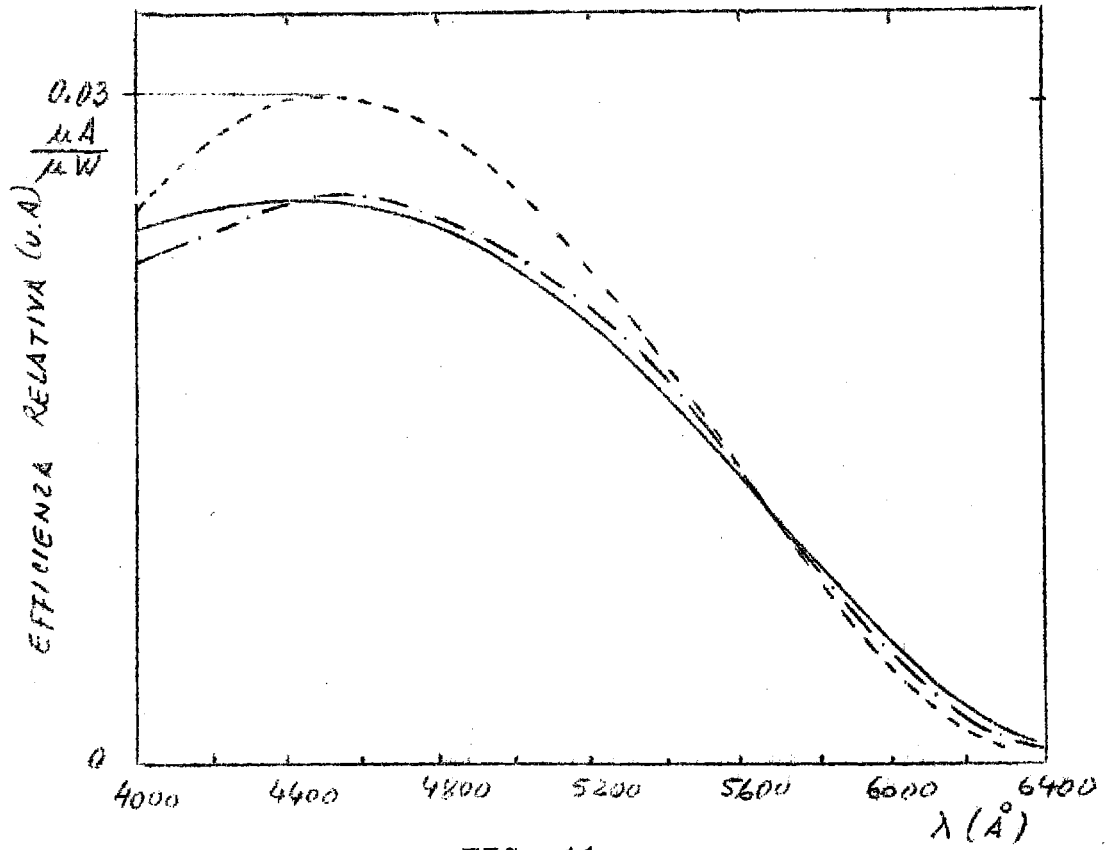


FIG. 11

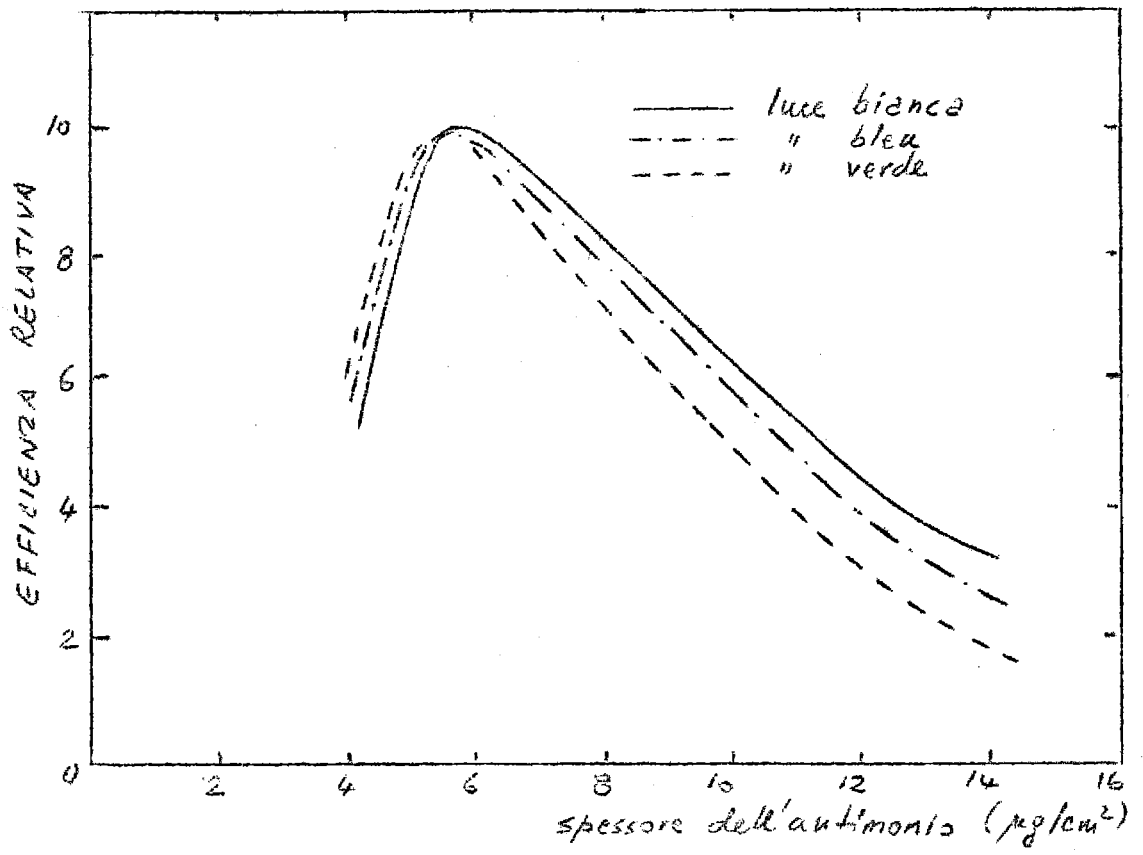
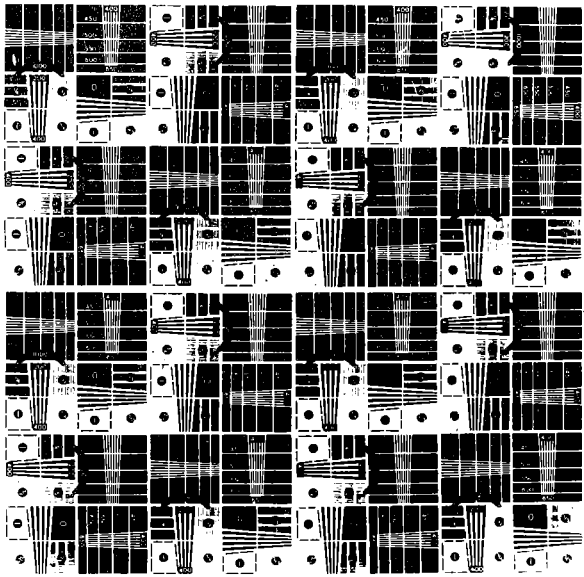
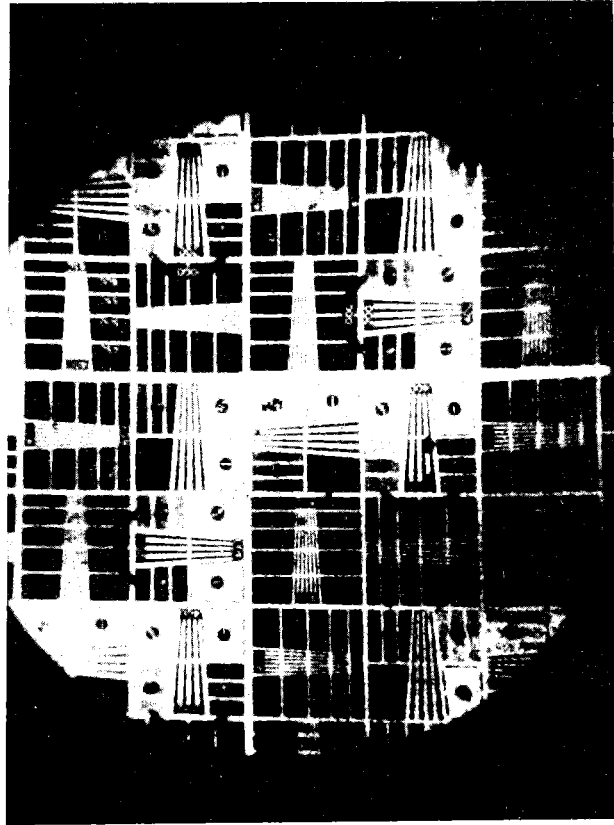


FIG. 12

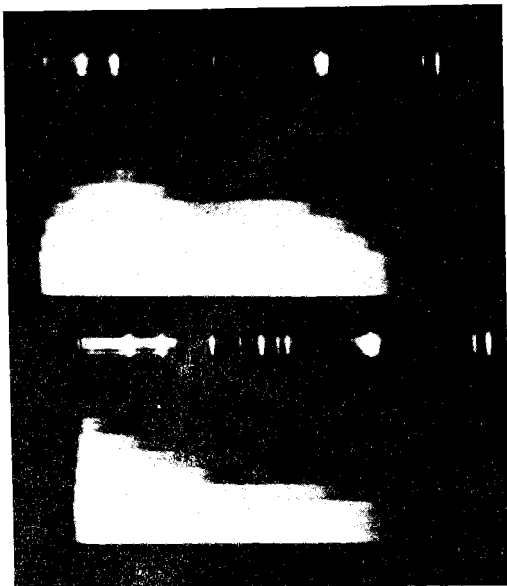


a)

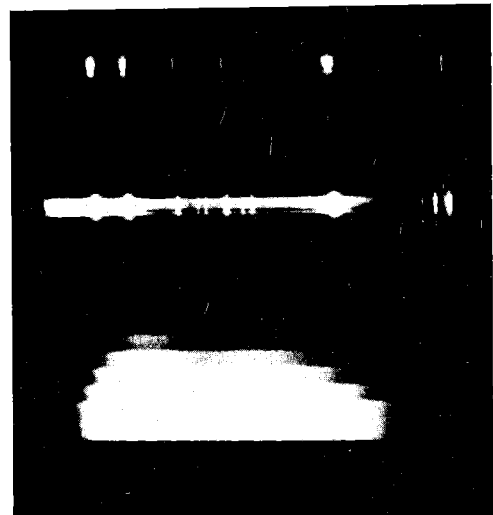


b)

FIG. 13



SPETTRO FOSFORO



SPETTRO LAMPADA

FIG. 14