



## **INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania**



# **PROGETTAZIONE DELL' ELETTRONICA DI LETTURA PER UNA MATRICE DI SENSORI A DIAMANTE.**

*Antonio Micciché*

**Rapporti interni e tecnici  
N. 1/2004**

Il diamante, è un materiale che grazie alle sue proprietà chimico-fisiche, suscita un particolare interesse nel campo delle applicazioni scientifiche.

La sua struttura cristallina, giustifica una serie di proprietà meccaniche come la durezza, bassa indice di compressione, bassa espansione termica ed alta conducibilità termica che aumentano l'interesse scientifico e tecnologico.

Il diamante è caratterizzato dal fatto che il suo gap energetico tra la banda di valenza e quella di conduzione, è di 5,48 eV.

Da un punto di vista ottico, ha la proprietà di essere trasparente in un'ampia zona spettrale che va dall'infrarosso (circa 2,5 $\mu$ m) fino a toccare quasi gli UV (220 nm) e sensibile ai raggi UV e X.

Grazie a queste caratteristiche, il diamante può essere impiegato per la costruzione di dispositivi di rilevazione per fotoni che hanno lunghezze d'onda minori di circa 250nm.

I campi dove trova applicazione questo materiale sono molteplici: dalla realizzazione di utensili di taglio e perforazione, all'applicazione nella costruzione di rilevatori per le radiazioni ionizzanti (raggi X).

Per la sua alta conducibilità termica, il diamante viene impiegato come dissipatore di calore per diodi laser, per circuiti integrati a microonde e per circuiti integrati in genere.

Opportunamente drogato, il diamante può essere utilizzato anche come semiconduttore.

Tuttavia in questo campo esistono limitazioni che impediscono la produzione in larga scala, di dispositivi sviluppati interamente su questo materiale.

La difficoltà di drogaggio tipo n, è una di queste limitazioni.

Infatti, risulta alquanto difficile includere elementi droganti di tipo n nel suo reticolo, avendo esso un'alta densità cristallina,

Nonostante ciò, è possibile trovare sul mercato, dispositivi elettronici al diamante come alcune famiglie di transistor ad effetto di campo (FET).

Recentemente si è visto come si hanno notevoli vantaggi, in termini di consumi, utilizzando il diamante come emettitore di elettroni per schermi elettroluminescenti.

Insieme a tutte queste particolari proprietà, ci sono degli inconvenienti che rendono limitato l'uso di questo materiale: primo fra tutti l'oggettiva difficoltà di trovarlo facilmente allo stato puro.

Ecco perché da una quarantina d'anni a questa parte, si stanno sviluppando tecnologie che permettono di creare dei diamanti "sintetici", partendo da elementi come il carbonio, opportunamente trattati, in condizioni particolari di pressione e temperatura.

Il diamante usato come rilevatore di fotoni nell'UV, è una delle applicazioni astronomiche di notevole interesse scientifico.

Lo scopo del nostro lavoro, è quello di caratterizzare una matrice di diamante 2x5 pixel (Fig.1), compatibilmente a quelle che sono le nostre esigenze scientifiche e le nostre risorse!

Più precisamente, illumineremo singolarmente ogni pixel della matrice in questione, tramite un fascio di luce monocromatica con lunghezza d'onda compresa tra 120nm e 300nm: quindi rileveremo la corrente che attraversa il singolo pixel eccitato ed analizzeremo il comportamento degli altri pixel della matrice (misure di cross-talk).

La corrente attraversata da un diamante eccitato, è debolissima (da centinaia di femtoA, a qualche decina di pA), quindi si rende necessario l'utilizzo di strumentazione in grado di apprezzare con minimo errore possibile, correnti di tali entità.

Questo fattore, rappresenta un grosso limite per le operazioni di caratterizzazione!

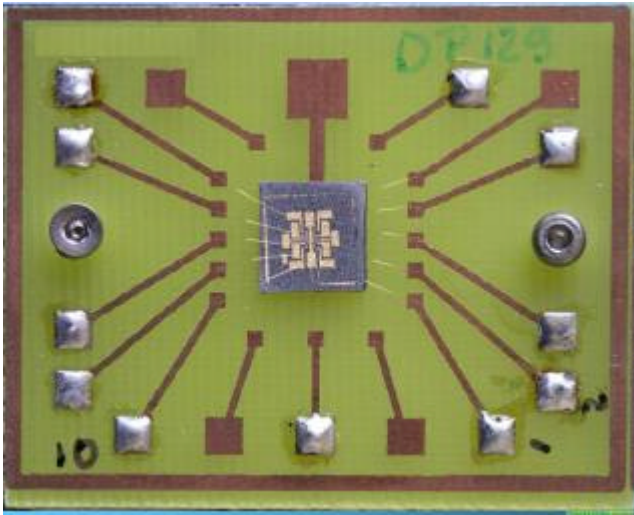


Fig. 1 Matrice diamante (2 × 5 pixel)

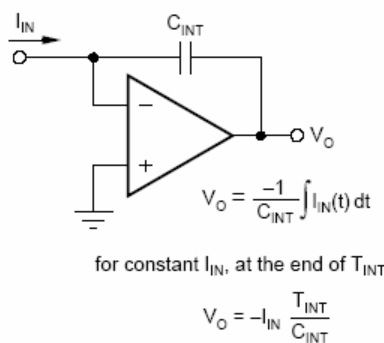
Considerato gli alti tempi di risposta del diamante (dal momento in cui s'alimenta, al momento in cui va a livelli di regime, trascorrono alcuni minuti) e l'impossibilità - dato gli elevati costi- d'avere tanti strumenti di misura (femto-amperometri) quanti il numero di pixel da misurare, abbiamo ritenuto opportuno, progettare un'elettronica tale da: poterci consentire simultaneamente la lettura in tutti i pixel della matrice; essere modello base, di un eventuale sistema di controllo per una futura applicazione in larga scala del rilevatore al diamante.

Il rilevamento di correnti molto basse (pA) è stata una prerogativa fondamentale che ci ha indotti a dimensionare un'elettronica, tale da consentire precisione ed, allo stesso tempo, una lineare ripetitività delle misure!

A tale scopo l'amplificatore integratore di transimpedenza IVC102, ha soddisfatto pienamente quelle che sono le nostre principali esigenze, garantendo precisione ed affidabilità, insieme a costi contenuti e grande versatilità.

L'IVC102 è un amplificatore integratore di precisione, costituito da op amp, FET e capacità che garantisce un buon grado di precisione e una riduzione di rumore, in relazione alla transimpedenza del circuito del op amp (Fig.2).

Fig. 2



Output voltage after integration period is proportional to average  $I_{IN}$  throughout the period.

La fig. 3 , mostra una tipica applicazione dell'IVC102.

In questo caso la grandezza da amplificare e quindi rilevare, è la debole corrente di un sensore a foto-diode.

Le C1, C2 e C3, opportunamente dimensionate (10p, 30p e 60p), sono le capacità d'integrazione, mentre gli switches S1 e S2 ,determinano rispettivamente il tempo d'integrazione e gli impulsi di start e reset.

Il tempo d'integrazione dipende dalla corrente d'ingresso e dalla capacità interna e può variare da 100us a qualche minuto. Durante il periodo in cui S1 rimane chiuso, la corrente d'ingresso (pin 2), caricherà le capacità, producendo così una rampa negativa, all'uscita dell'integratore (Vo).

La tensione d'uscita dell'integratore (Vo), alla fine del periodo d'integrazione, sarà proporzionale alla corrente d'ingresso (pin 2).

I diagrammi temporali riportati in fig. 3 , rendono meglio l'idea della dinamica del componente e quindi delle sue alte prestazioni

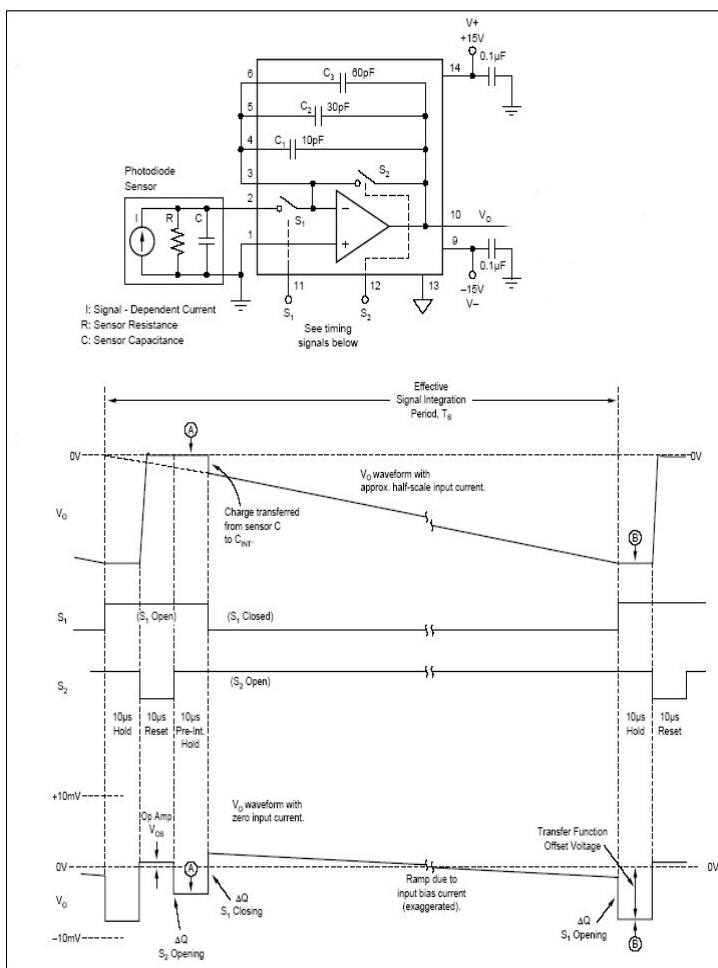


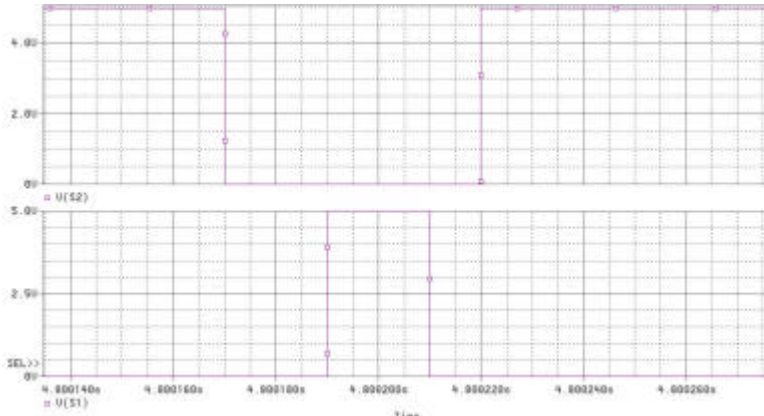
Fig. 3 Schema di funzionamento IVC102

Il guadagno dell'amplificatore, può essere variato, modificando la capacità interna d'integrazione, tramite l'aggiunta di condensatori esterni agli ingressi 4, 5, 6.

Il nostro caso prevede la realizzazione di due singoli canali su un'unica scheda, utilizzando due IVC102 a tecnologia SMD. L'idea di realizzare solo due canali, nasce dalla necessità di ridurre al massimo le fonti di rumore, che causerebbero inevitabilmente, una componente d'errore rilevante nelle nostre misure.

Il valore di Capacità d'integrazione scelto, è dato dai valori di capacità integrati dell'IVC102: 100pF.

In relazione all'entità della grandezza da rilevare (pA), si sono stabiliti i tempi d'integrazione 1,6s, di campionamento 20 us e di reset 50 us, dimensionando opportunamente i timing S1 e S2 (fig. 4).



S1 = 20us  
 S2 = 50us  
 T int. = 1.6s

Fig. 4 Segnali S1 e S2 (simulazione Pspice).

S1 e S2 sono stati realizzati, partendo da un segnale originario (fig. 6), generato da un NE555 configurato come multivibratore astabile (fig.5)

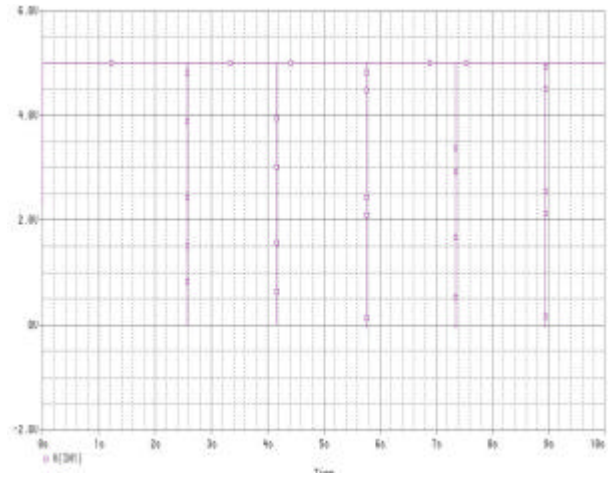
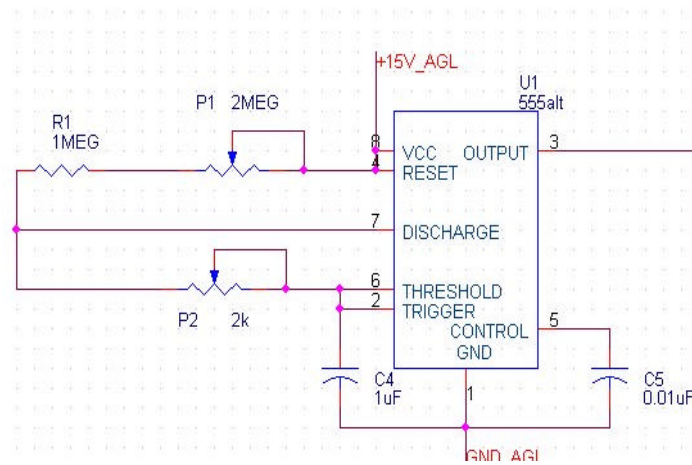


Fig. 5 NE555 in versione multivibratore astabile

Fig. 6 NE555 output

Da questo segnale, usando sia una rete RC dimensionata in modo tale da avere un ritardo di 20us, sia un'opportuna rete logica, abbiamo ottenuto il segnale S2 (fig. 7).

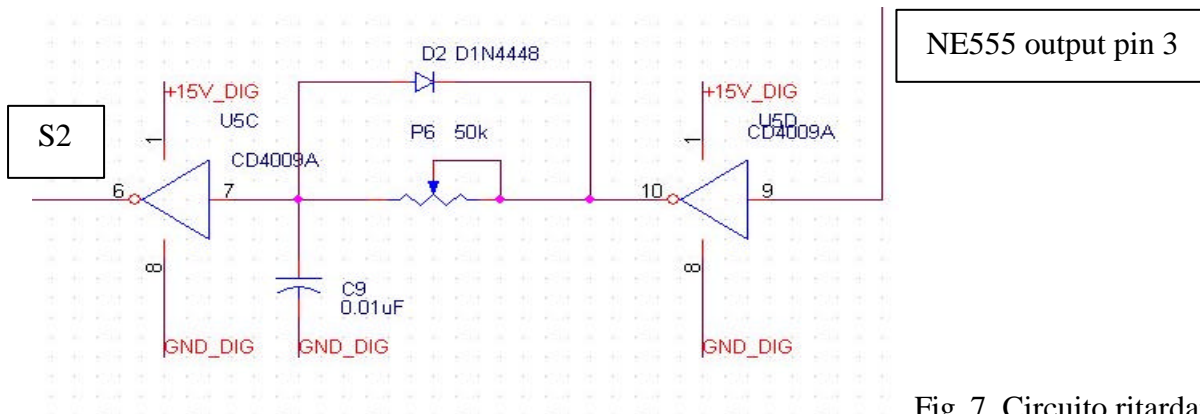


Fig. 7 Circuito ritardante

Facilmente infine, tenendo conto dei segnali S2 e quello d'uscita dell'astabile (pin 3 NE555), abbiamo ottenuto il segnale S1, utilizzando una logica OREX (fig. 8)

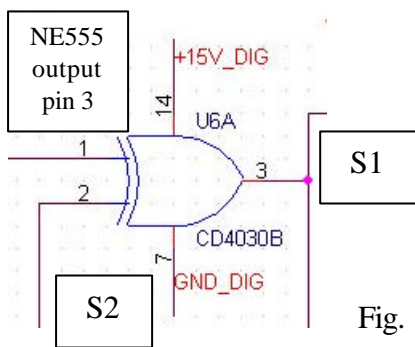


Fig. 8 Ores

Lo schema elettrico dell'intero progetto, è rappresentato in fig.9.

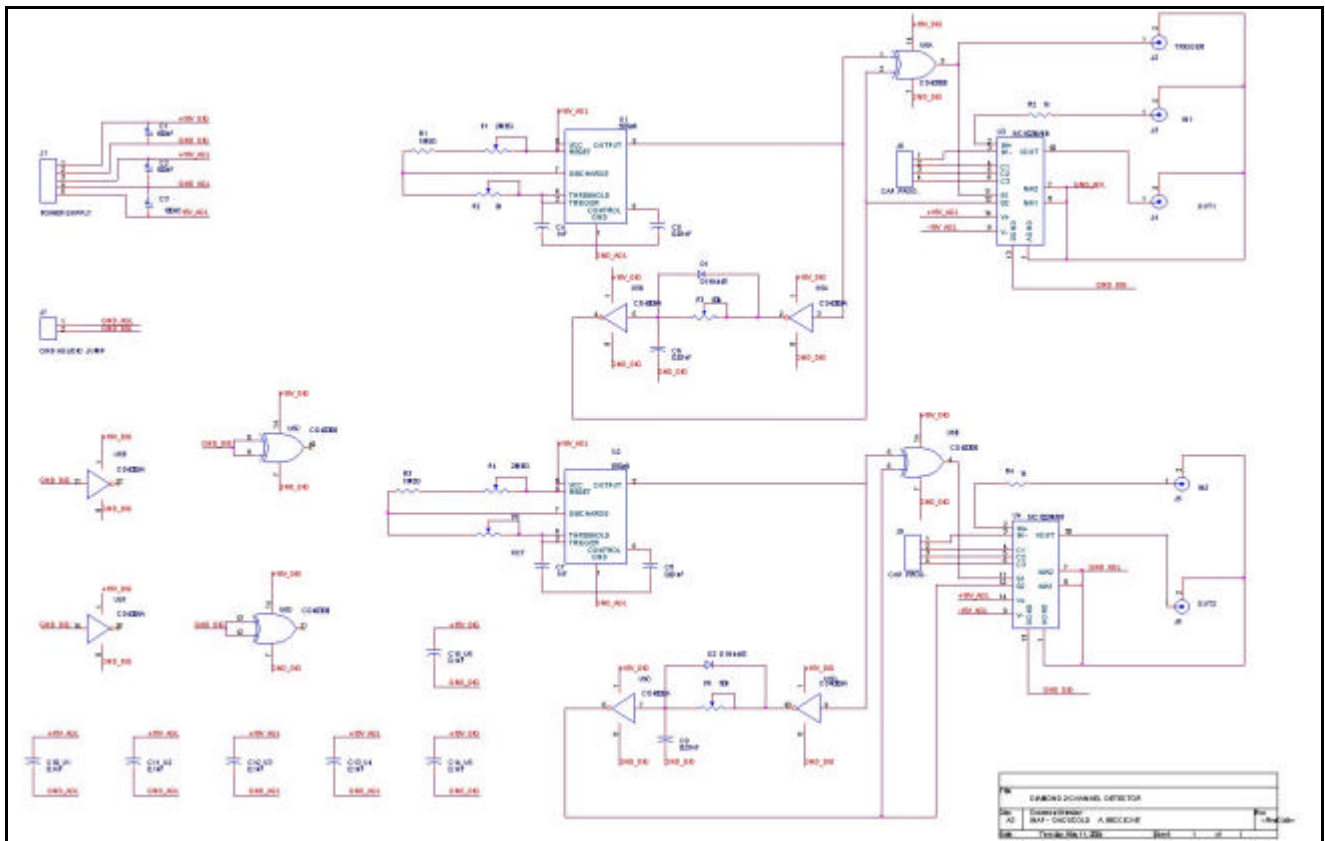


Fig. 9 Schema elettrico completo del progetto

Nelle uscite dei due canali (J4 OUT1, J6 OUT2), saranno connessi due multimetri sincronizzati dal segnale di trigger (J2 TRIGGER) coincidente proprio con il segnale S1, in maniera tale rilevare la lettura proprio quando inizia il campionamento.

Nei due NE555 e nelle reti di ritardo, sono stati inseriti dei potenziometri, con lo scopo di poter regolare, a seconda delle esigenze, i tempi d'integrazione, di campionamento e di reset.

Per lo stesso motivo, nei due IVC102, sono stati predisposti ai pins 3,4,5,6, dei jumper tali, da poter programmare il valore di capacità d'integrazione.

I test con Pspice, hanno confermato la funzionalità del circuito (fig. 10)

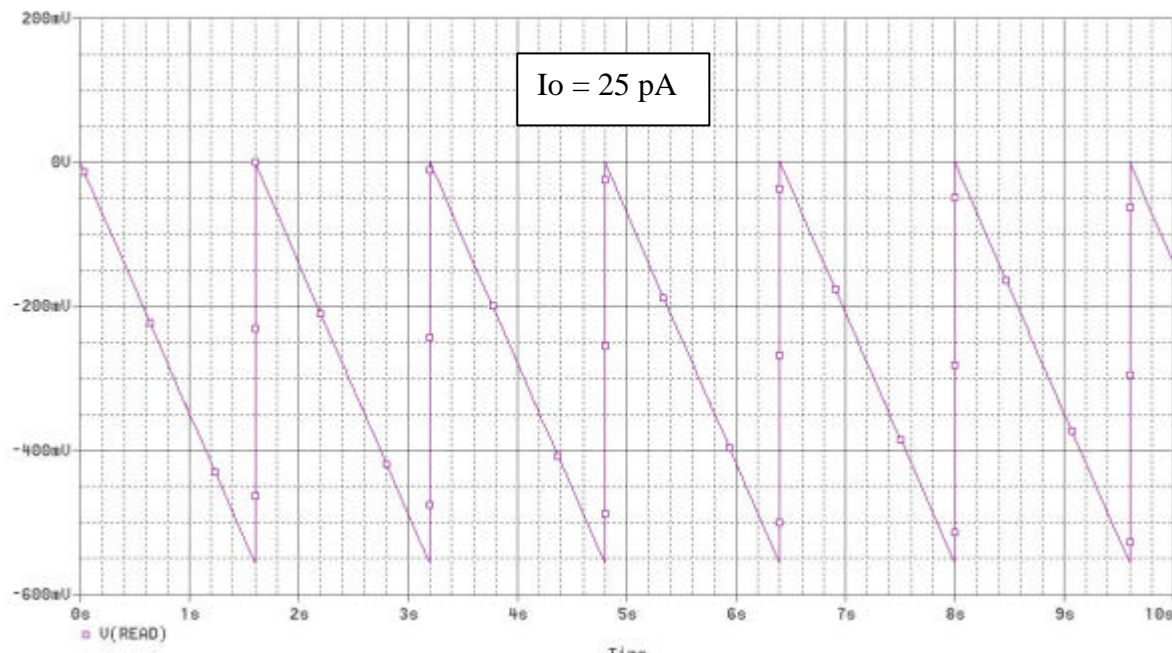


Fig. 10 Simulazione (Pspice) del circuito con una corrente d'ingresso pari a 25 pA.

La fig. 10 rappresenta un esempio di simulazione per una corrente d'ingresso ( $I_o$ ) pari a 25pA. Naturalmente più simulazioni sono state effettuate ed il risultato di quest'ultime è raffigurato nel grafico della fig.11.

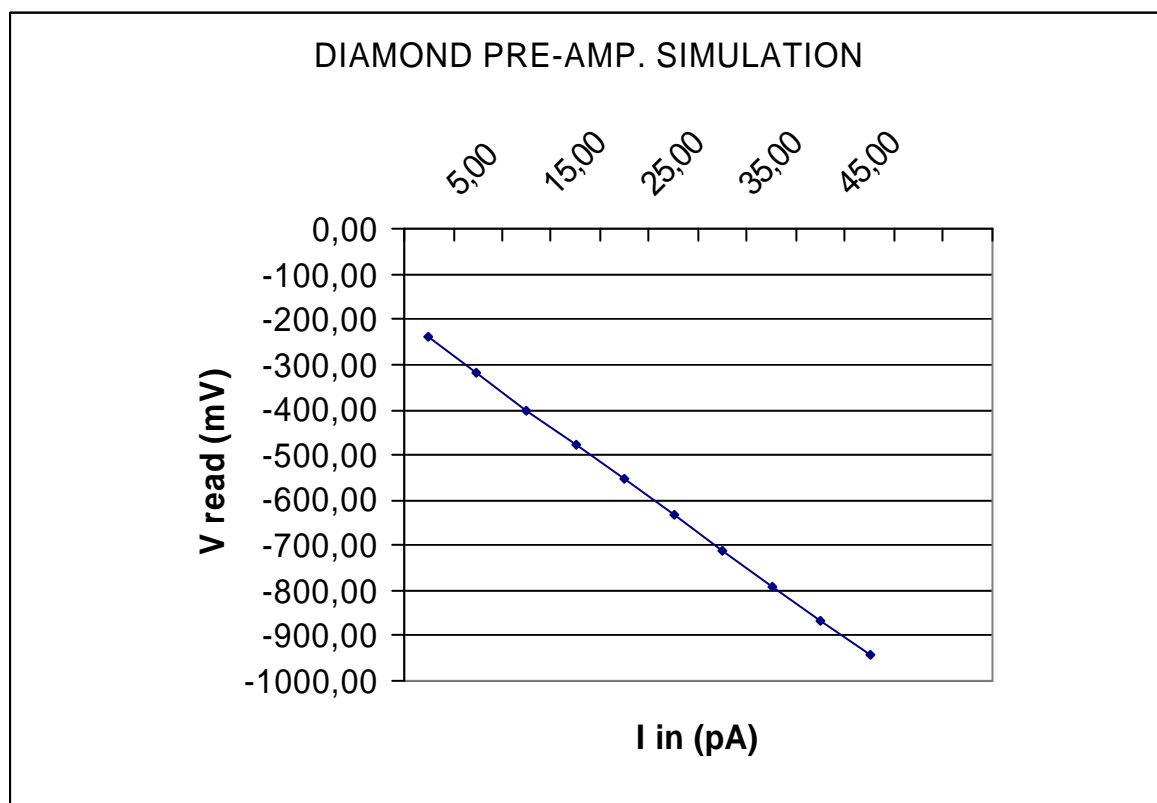


Fig. 11 Risposta IVC102

Da questo si denota come il circuito garantisca una discreta linearità.

Il passo successivo è stato lo sviluppo del circuito stampato con Layout plus (Fig.12).

