

Atividades

i) Fabricação e caracterização de diodos PIN

- - Luiz da Silva Zambom
- - Antonio Carlos Arruda
- - Henrique Chaves Gulino (máscaras)
- - Raphael Carvalho Gonçalves (máscaras)
- - Vinicius Carvalho Moraes (máscaras)
- - Ana Paula Mousinho Mansano
- - Henrique Peres (implantação)
- - Ronaldo Mansano
- - Sebastião Santos

ii) Fabricação e caracterização da estrutura básica do LGAD

- - Marcos Watanabe
- - Fábio Izumi
- - Guilherme Saito
- - Henrique Peres (implantação)
- - Ronaldo Mansano
- - Sebastião Santos

iii) Simulação numérica 2D/3D de estruturas HV-CMOS

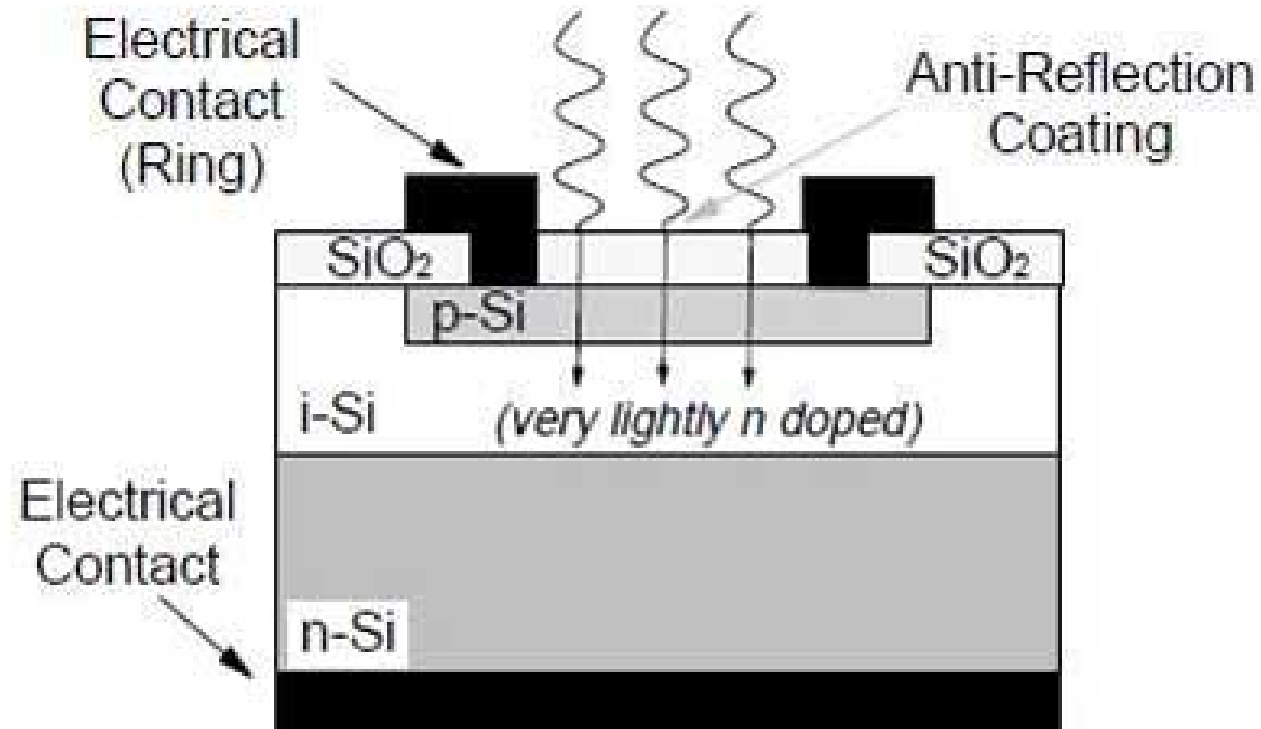
- - Paula Ghedini Der Agopian
- - Henrique Chaves Gulino (simulação TCAD)
- - Raphael Carvalho Gonçalves (simulação TCAD)
- - Vinicius Carvalho Moraes (simulação TCAD)
- - Ronaldo Mansano
- - Sebastião Santos

iv) Testes elétricos e de radiação.

- - Carlos Ramos
- - Nelson Ordonez (raios X),

v) Caracterizações físicas de superfície

- - Maria Lúcia Pereira da Silva
- - Ana Neilde

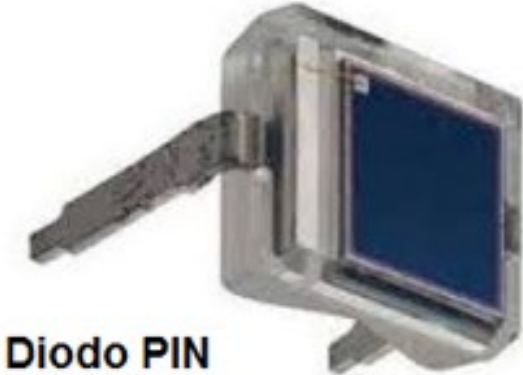


P-I-N Diode Schematic

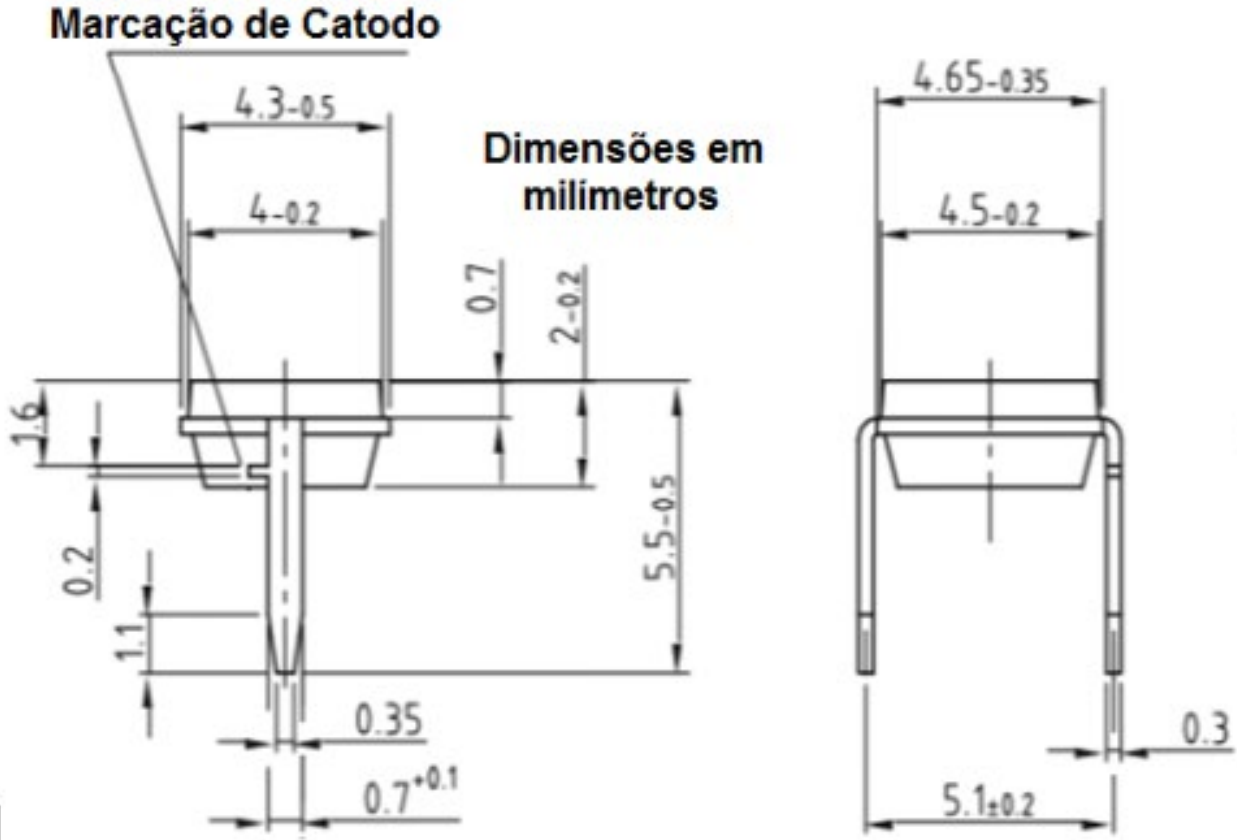
CARACTERIZAÇÃO
ELÉTRICA DE DIODOS PIN
BPW34 OPERANDO COMO
SENSOR DE RAIOS X

- **Diodo PIN código BPW34**
 - **Corte lateral da estrutura interna do diodo PIN com camada intrínseca de ~10um.**

DIODO PIN BPW34

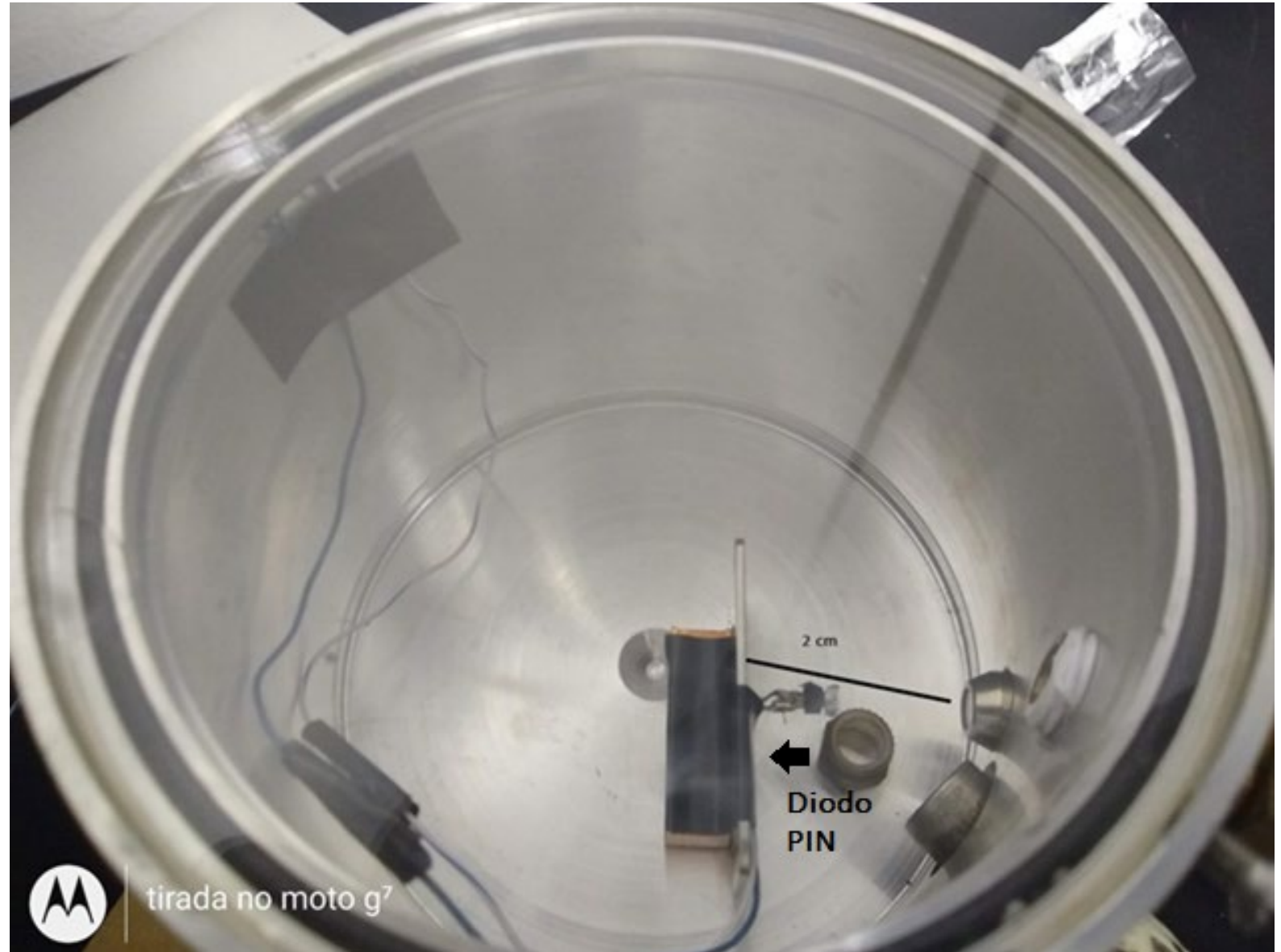


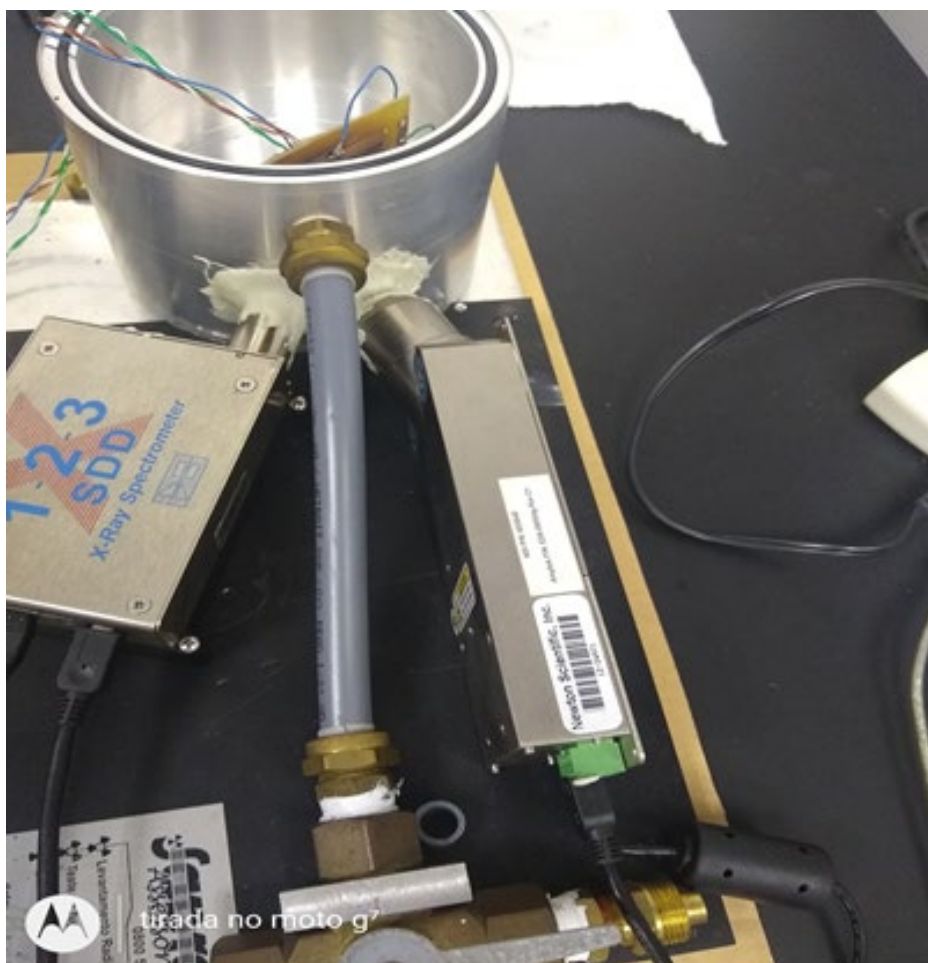
Diodo PIN



CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE DIODOS PIN OPERANDO COMO SENSORES DE RAIOS X

- **Metodologia –
Equipamentos e
estruturas utilizadas**
- **Estrutura de
caracterização do Diodo
PIN**





CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE DIODOS PIN OPERANDO COMO SENSORES DE RAIOS X

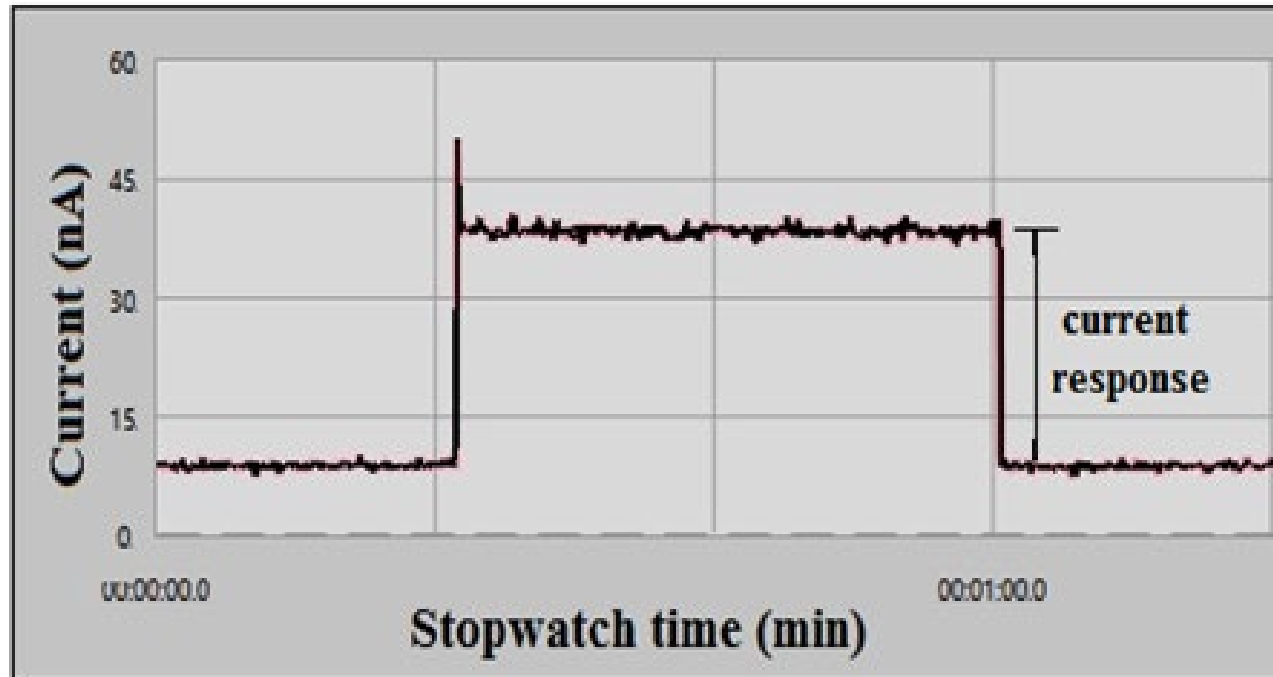
Metodologia – Estruturas e equipamentos utilizados

- Sistema de Raios X em miniatura marca Amptek, modelo mini X (~21 keV)
- Tubo emissor a 2 cm de distância, com fluxo em torno de 500 mSv/h para tensão e corrente do tubo de raios X de 40 kV e 100 μ A, respectivamente, em um ângulo de cone de 120°
- Compõe-se por um tubo de raios X Ag com janela de berílio.
- A fonte de alimentação de alta tensão varia de 10 a 40 kV e produz uma tensão de polarização entre o alvo Ag (que é aterrado) e o filamento para corrente na faixa de 5 a 100 μ A.

CARACTERIZAÇÃO
ELÉTRICA DE DIODOS PIN
OPERANDO COMO
SENSORES DE RAIOS X

- Resultados – Diodo PIN

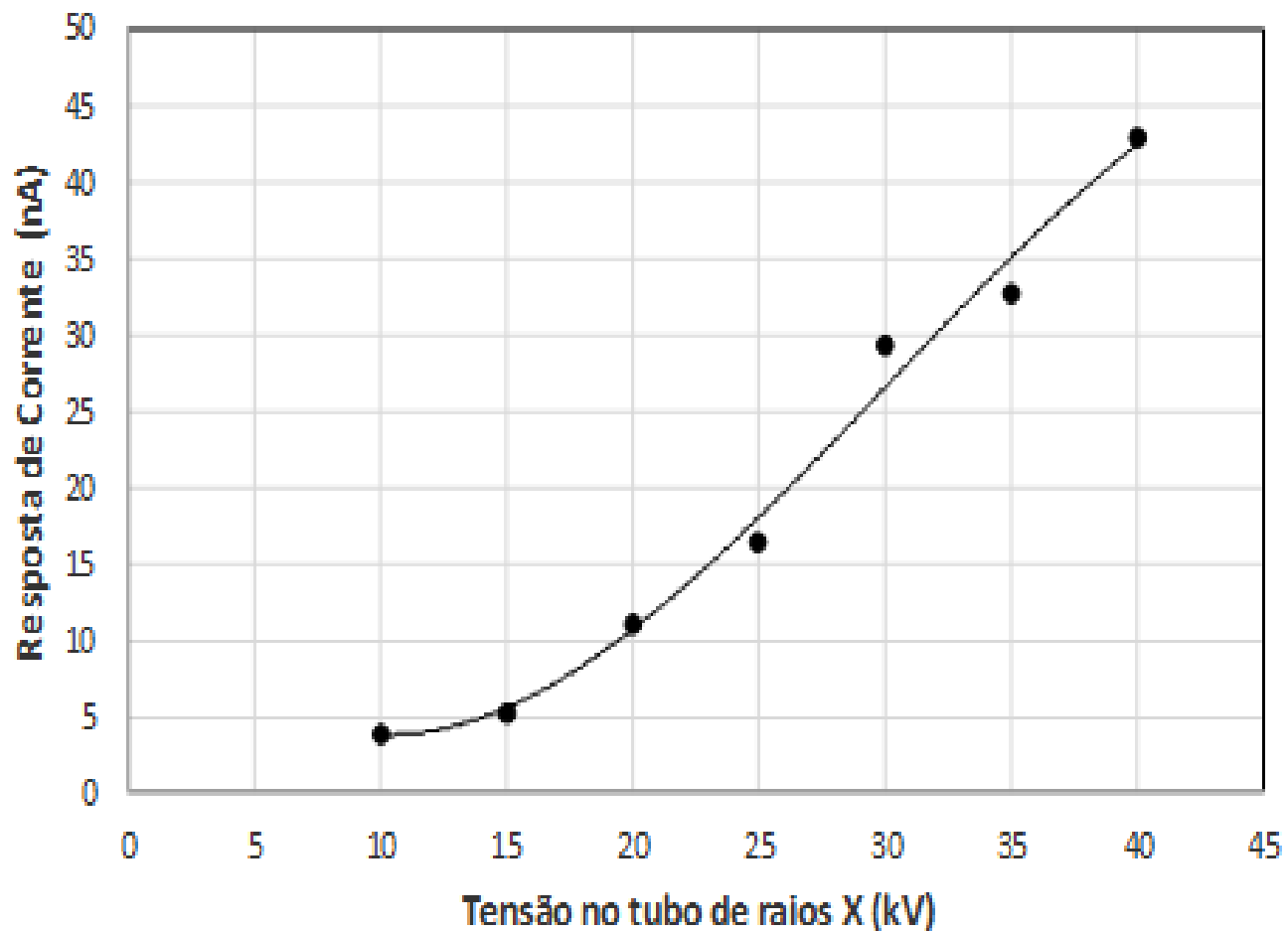
Resposta de tensão do PIN
no modo de tensão
constante (-5V) para o
tubo de raios X polarizado
com 40 kV e corrente de
filamento de 100 μA (~
500 mSv/h)



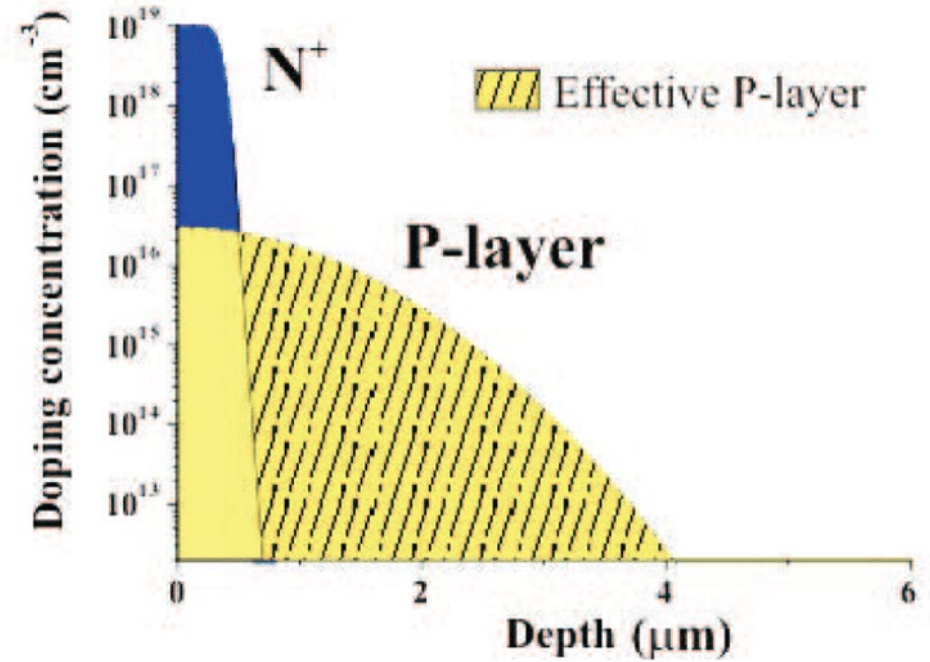
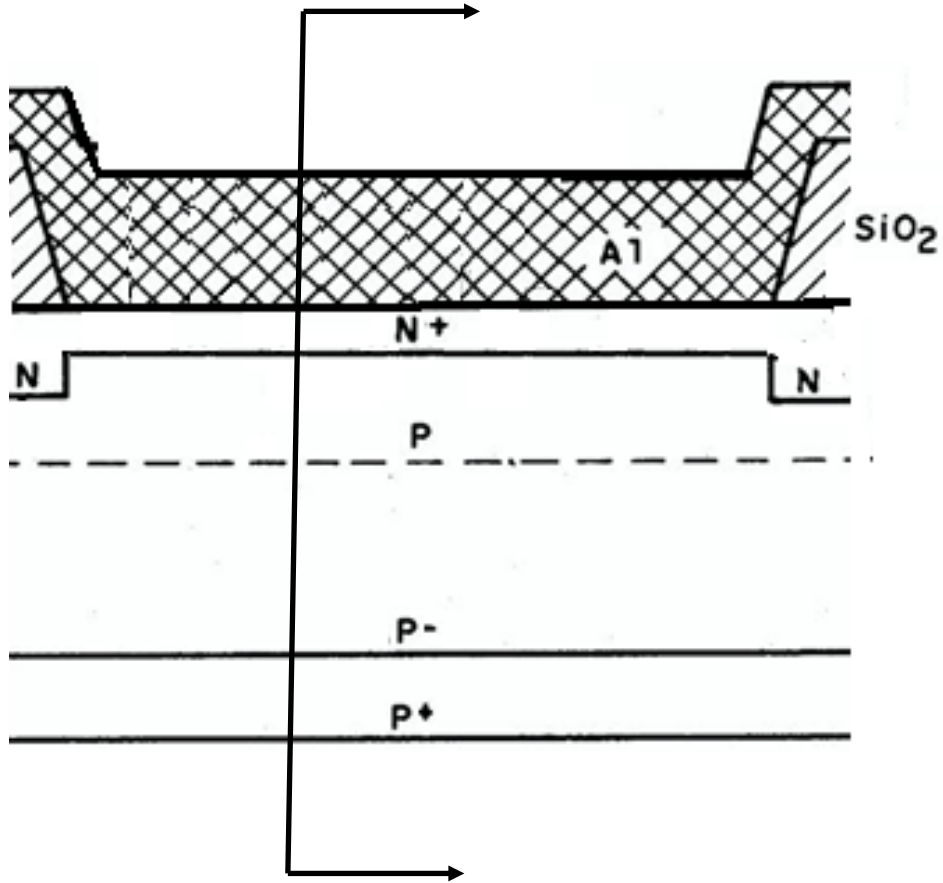
CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE DIODOS PIN OPERANDO COMO SENSORES DE RAIOS X

- Resultados – Diodo PIN

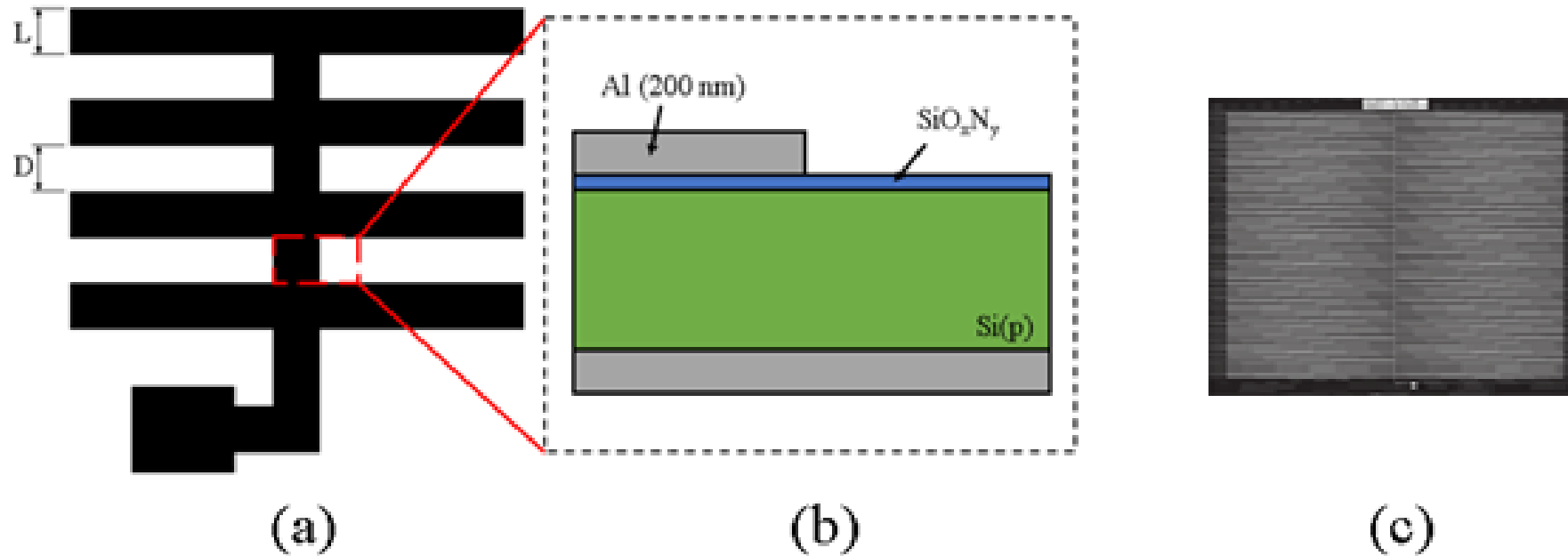
**Resposta da corrente do PIN
no modo de tensão
constante (-5 V) em função
da tensão do tubo de raios X
para uma corrente de
filamento de 100 μ A.**



Fabricação da região intermediária do LGAD

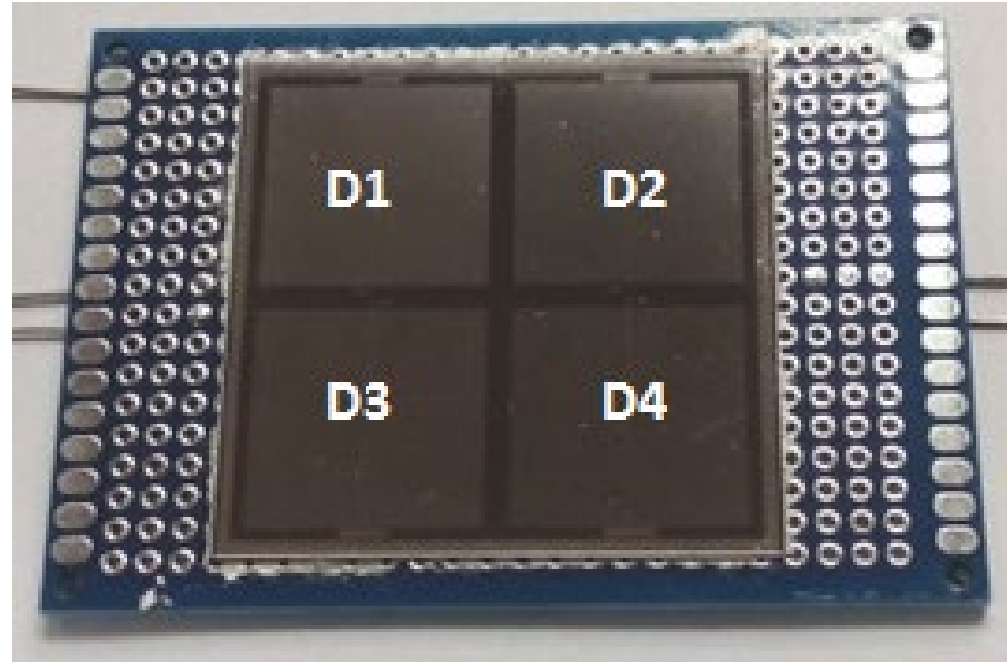


Fabricação e caracterização da estrutura de passivação do LGAD



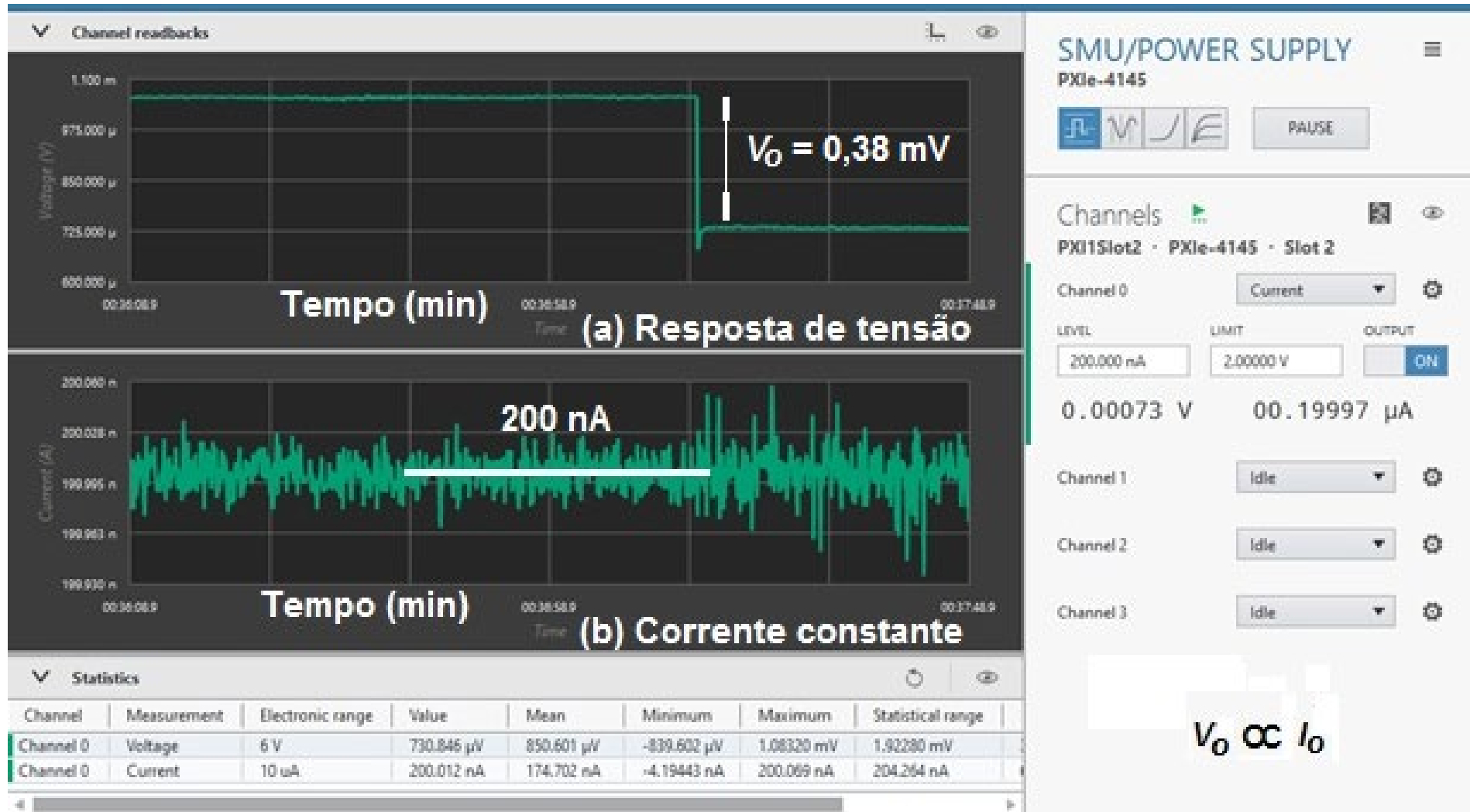
Vista de topo (a), de perfil (b) e a vista de topo da máscara (c)

Testes preliminares da estrutura de passivação do LGAD



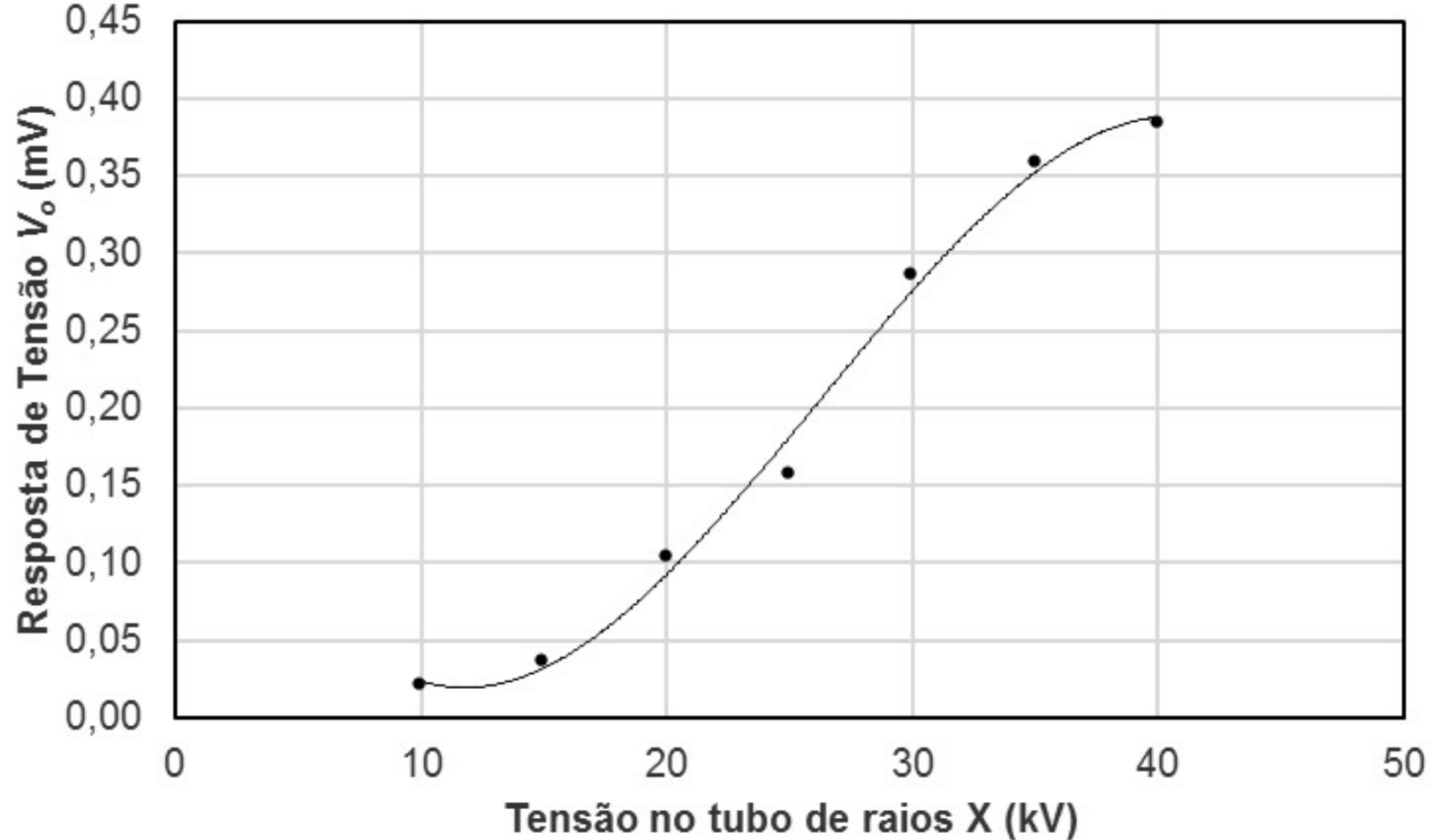
Placa de circuito impresso (PCB) sobre a qual foi feita colagem de lâmina de silício cortada na dimensão de 5 cm x 5cm onde é possível observar quatro estruturas de mesma área com dimensão lateral de 2 cm cada.

Testes preliminares da estrutura de passivação do LGAD



Degrau de tensão V_0 na estrutura de passivação do LGAD com corrente constante de 200 nA quando é ligada a fonte de Raios X em 40KV x 100 μA

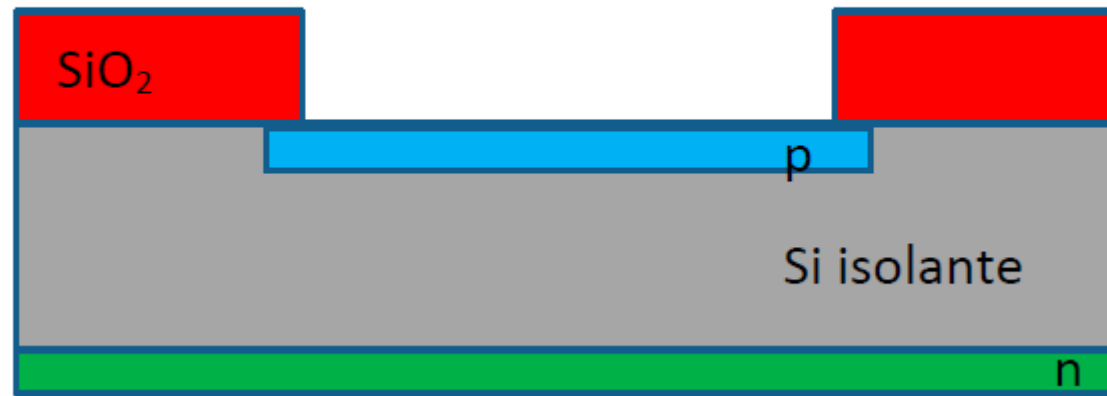
Testes preliminares da estrutura de passivação do LGAD



Resposta de tensão da estrutura operando no modo de corrente constante (200 nA) em função da tensão do tubo de Raios X para corrente de filamento de 100 μ A

Fabricação de diodo PIN

Esquema do diodo PIN



Situações a serem resolvidas

- 1 – difusão por proximidade dos 2 lados tipo p e n, funciona?
- 2 – Qual a espessura e R quadrado/resistividade da lâmina isolante a ser utilizada?
- 3 – Qual a profundidade e R quadrado ou resistividade da região tipo n e p?

Lâminas que foram utilizadas (Lâmina Addison – 3 PP – 8 – tipo P)

Frente – R (10^6 ohm/sq)	Costas – R (10^6 ohm/sq)	Espessura (um)	[B] átomos/cm ³
0,231	0,237	332	$1,778.10^{12}$
0,234	0,232	331	
0,213	0,236	323	
0,229	0,225		

[B] foi calculada, utilizando o site <https://www.pvlighthouse.com.au/resistivity>, a partir do valor de resisitividade ($R_q = \text{resist.}/\text{espessura}$)

Espessura medida por micrômetro

Etapas realizadas

- 1 – Medição Rq por 4 pontas
- 2 – Oxidação úmida de 1h20min.
1150 °C / O₂ 1L/min / H₂O = 98 °C
- 3 – Litografia diodo – máscara
- 4 – Corrosão do SiO₂
- 5 – Difusão tipo n e p

**Resultados - Oxidação úmida de 1h20min.
1150 °C / O₂ 1L/min / H₂O = 98 °C**

Espessura (nm)	
1004,5	1003,3
983,33	1009,0
1008,6	
1009,0	

Resultados - Síntese SOG tipo n e tipo p

Vol. ETOH (mL)	Massa H ₃ BO ₃ (g)	Temp. prato (°C)	Temp. solução (°C)	Tempo (min.)
50	5,02	120	72	20

Vol. TEOS (mL)	Vol. Solução H ₃ BO ₃ (mL)	Temp. (°C)	Tempo (min.)	Vol. Acetona (mL)
1 - 10	5	72	10	10
2 - 10	10	72	10	10
3 - 10	15	72	10	10

Vol. TEOS (mL)	Vol. Solução H ₃ PO ₄ (mL)	V H ₂ O (mL)	Vol. Isop. (mL)	Temp. (C)	Tempo (min.)	Vol. Acetona (mL)
10	1,0	3,0	23,5	72	20	10

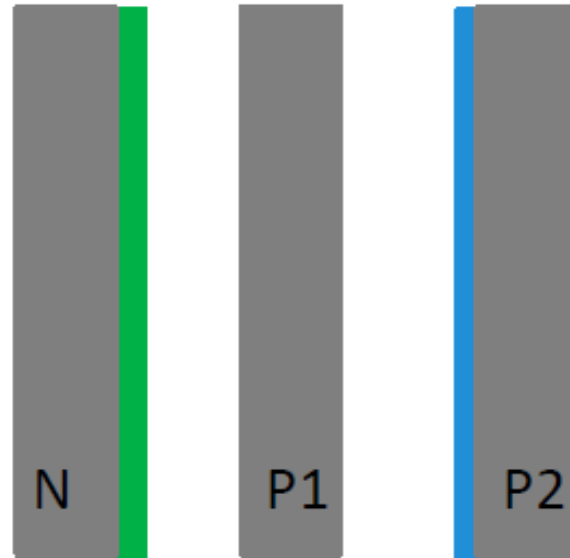
Teste de difusão n e p, por proximidade, para diodo PIN

Esquema da difusão

SOG n

teste

SOG p



Difusão: temp. 1150 °C / 45 min. / 2 mL SOG p e n

Resultados

Antes da difusão

Lâmina N – R (ohm/q)	Lâmina P1 – R (ohm/q)	Lâmina P2 – R (ohm/q)
264	1441,4	144,0
302	149,2	147,4
290	146	145,9
292	149,7	143,4
284	148,9	147,7
Costas	Costas	Costas
279	148,2	146,0
291	145,2	143,7
296	153,3	148,0

Resultados

Após difusão – lâmina P1

Sem remover SiO ₂ residual com HF		Após remoção HF	
Lado N – R (ohm/q)	Lado P – R (ohm/q)	Lado N	Lado P
3,52 / n	5,90 / p	4,05	6,04
4,57 / n	7,17 / p	5,56	7,18
3,52 / n	5,83 / p	4,45	6,79
3,34 / n	5,98 / p		
3,85 / n	6,51 / p		
3,82 / n	6,24 / p		
4,52 / n	6,14 / p		
4,81 / n	5,75 / p		

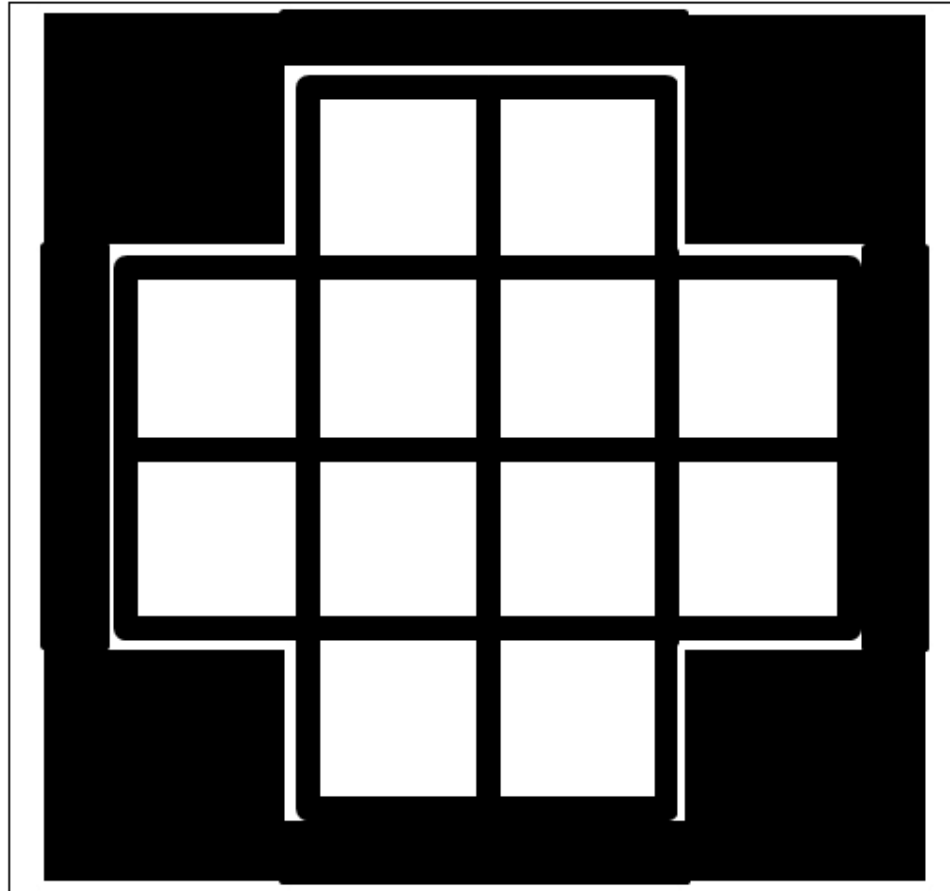
Resultados

Lâmina P1 – após remoção HF

Lado N – R (ohm/q)	Lado P – R (ohm/q)
1,92 / n	4,22 / p
2,00 / n	6,39 / p
1,97 / n	4,38 / p
1,92 / n	4,19 / p
2,05 / n	6,01 / p
2,68 / n	5,18 / p
2,47 / n	4,61 / p
1,99 / n	4,23 / p

Fabricação do diodo PIN

1 - Litografia diodo: máscara em fotolito



Fabricação do diodo PIN

Corrosão do SiO_2 lado polido

- Neste caso, utilizando a peça de teflon, as costas foram protegidas e o lado polido foi exposto ao BOE por 15 minutos.



Fabricação do diodo PIN

Difusão do lado polido

Temp. 1150 °C / 45 min. / N₂ 5
L/min / SOG p (2 mL) / costas:
SiO₂

Lado polido

Lado p – R (ohm/q)
6,23 / p
6,14 / p
6,34 / p
6,52 / p
7,01 / p
11,47 / p
6,21 / p
6,73 / p

Fabricação do diodo PIN

Difusão do lado rugoso

Remoção do SiO₂ costas – BOE: 16 minutos, utilizando a peça de teflon para proteger a frente

Costas – R (ohm/q)
$0,234 \cdot 10^5 / p$
$0,466 \cdot 10^5 / p$
$0,372 \cdot 10^5 / p$

Fabricação do diodo PIN

Difusão tipo n e p ao mesmo tempo. Difusão p novamente, para diminuir Rq.

- Temp. = 1150 °C
- Tempo= 45 min.
- N2 = 5 L/min
- SOG n (3,8 M) = 2 mL
- SOG p (10,0 mL) = 2 mL

Lado n – R (ohm/q)	Lado p – R (ohm/q)
2,88 / n	5,57 / p
3,49	5,11
3,30	8.87
2,84	4,75
3,29	4,43
3,17	4,80

Etapas que faltam ser realizadas

Metalização frente e costas

Medição dos diodos