

# 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.**

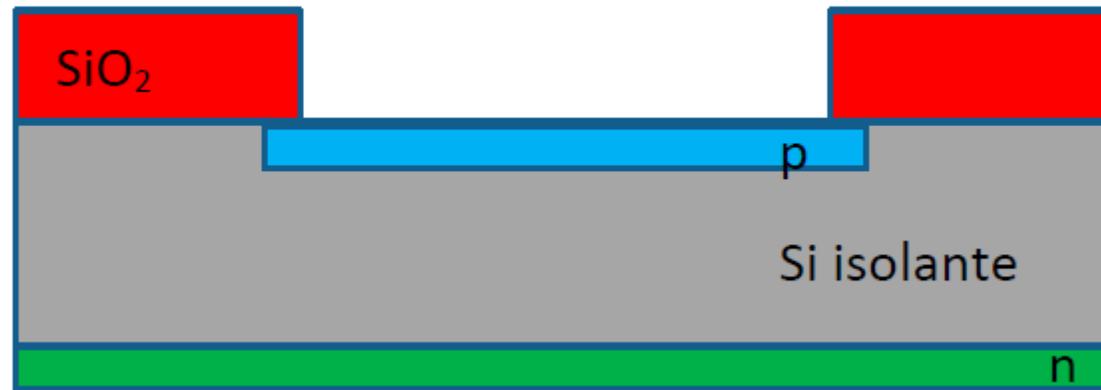
- - Carlos Ramos
- - Nelson Ordonez (raios X),

## **v) Caracterizações físicas de superfície**

- - Maria Lúcia Pereira da Silva
- - Ana Neilde

# 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 <sup>3</sup>
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 / O<sub>2</sub> 1L/min / H<sub>2</sub>O = 98 °C
- 3 – Litografia diodo – máscara
- 4 – Corrosão do SiO<sub>2</sub>
- 5 – Difusão tipo n e p

**Resultados - Oxidação úmida de 1h20min.  
1150 °C / O<sub>2</sub> 1L/min / H<sub>2</sub>O = 98 °C**

<b>Espessura (nm)</b>	
<b>1004,5</b>	1003,3
<b>983,33</b>	1009,0
<b>1008,6</b>	
<b>1009,0</b>	

# Resultados - Síntese SOG tipo n e tipo p

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

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

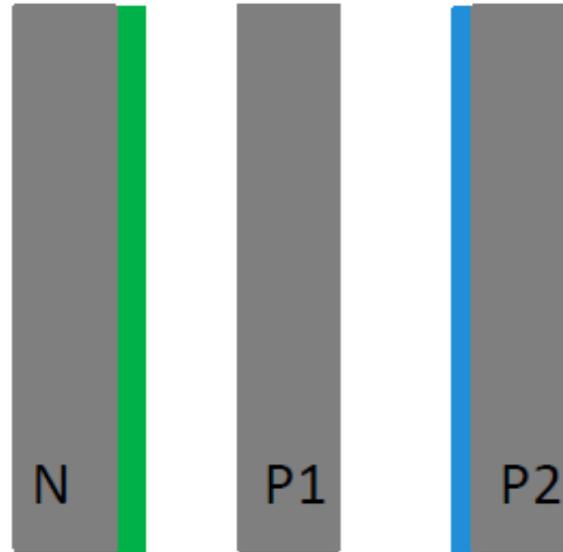
# Teste de difusão n e p, por proximidade, para diodo PIN

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
<b>Costas</b>	<b>Costas</b>	<b>Costas</b>
279	148,2	146,0
291	145,2	143,7
296	153,3	148,0

# Resultados

## Após difusão – lâmina P1

Sem remover SiO <sub>2</sub> 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		

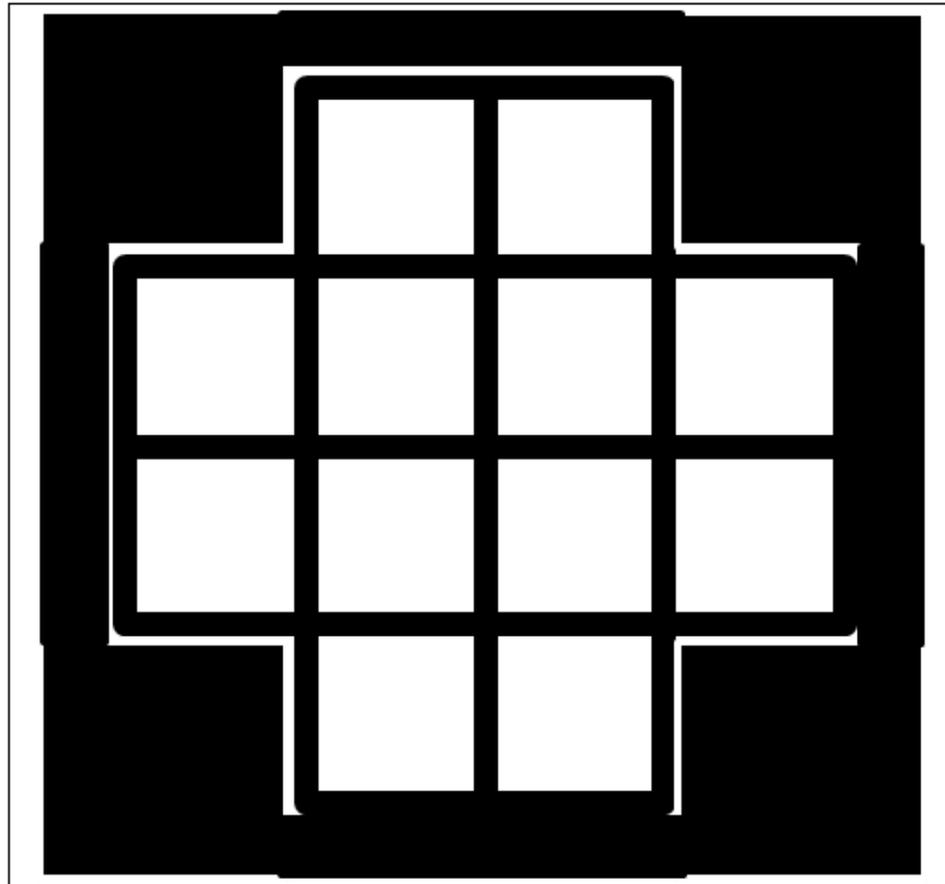
# Resultados

## 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 $\text{SiO}_2$ 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. / N<sub>2</sub> 5  
L/min / SOG p (2 mL) / costas:  
SiO<sub>2</sub>

## 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 SiO<sub>2</sub> costas – BOE: 16 minutos, utilizando a peça de teflon para proteger a frente

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

# Fabricação do diodo PIN

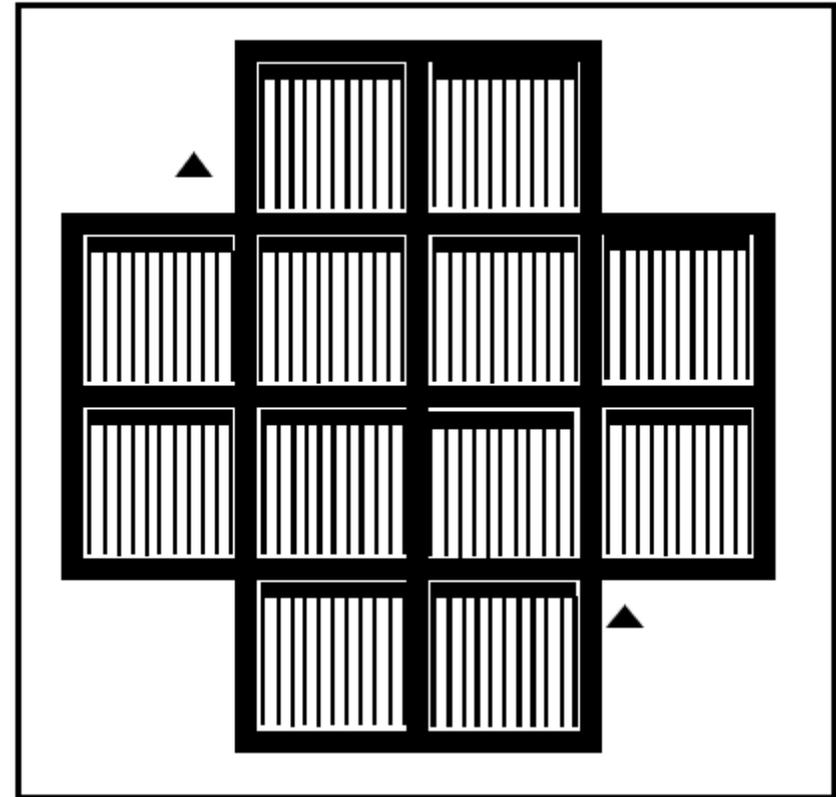
Difusão tipo n e p ao mesmo tempo. Difusão p novamente, para diminuir Rq.

- 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

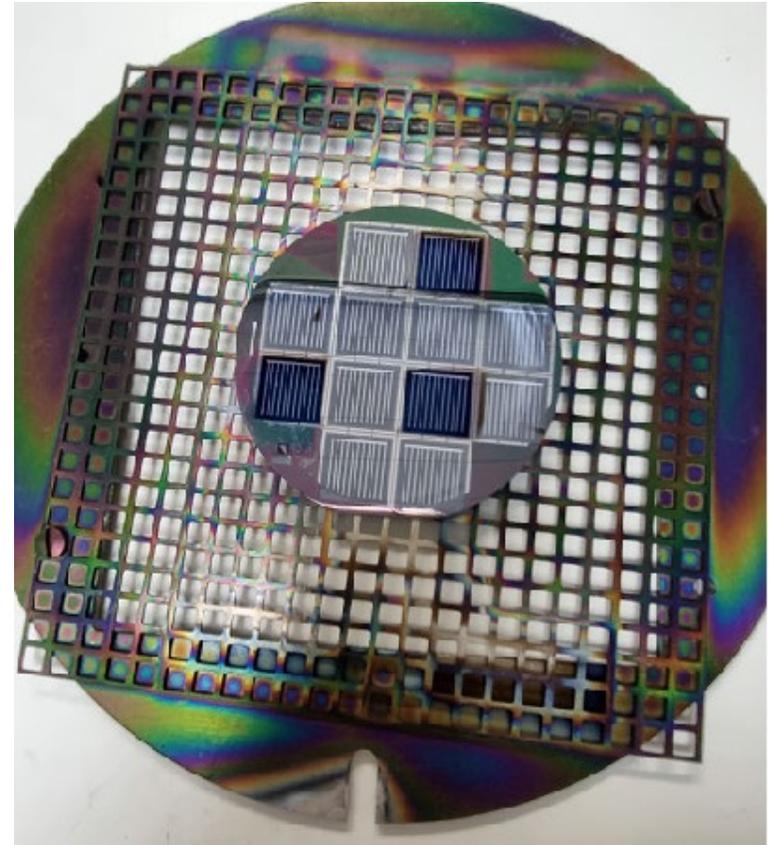
# Metalização costas e contatos

- Evaporação de alumínio - Deposição de alumínio – Frente
- Litografia diodo: máscara 2 em fotolito
- Corrosão do alumínio
- Deposição de alumínio – costas



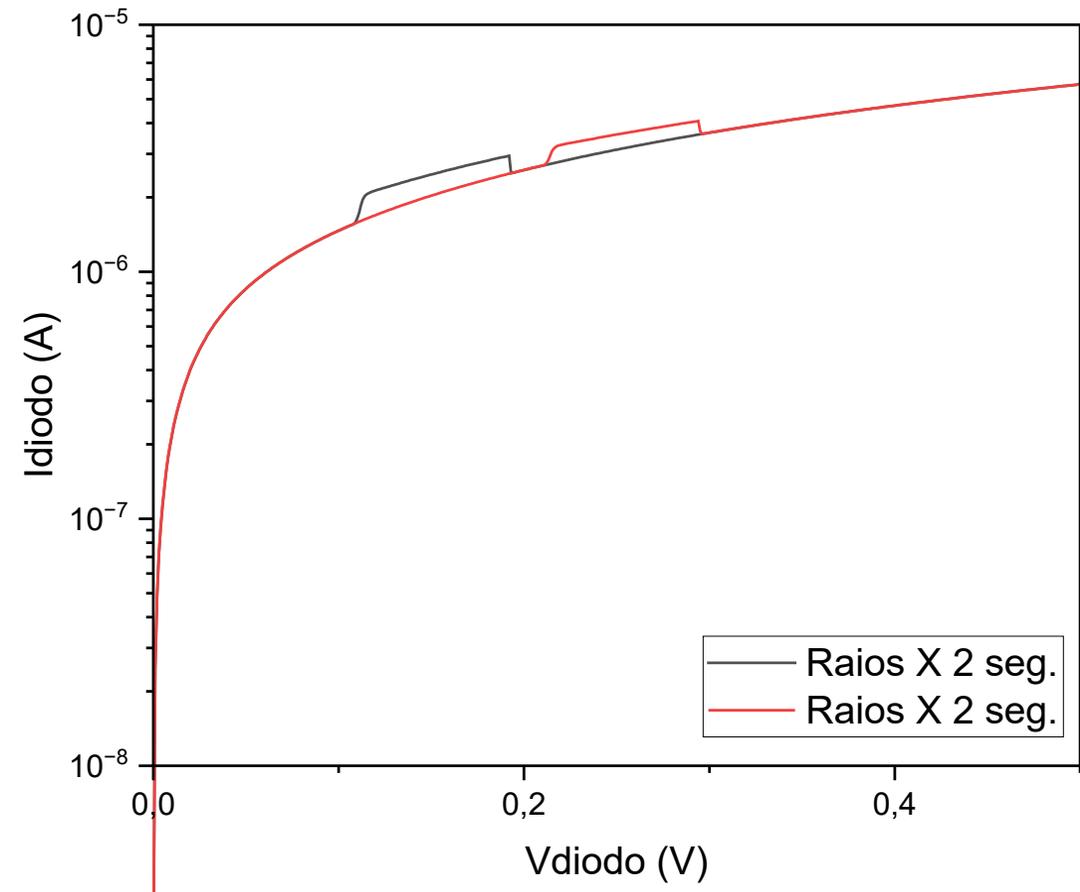
# Deposição filtro

- Deposição de filme filtro de luz ( $\text{SiO}_2$  e  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) por sputtering



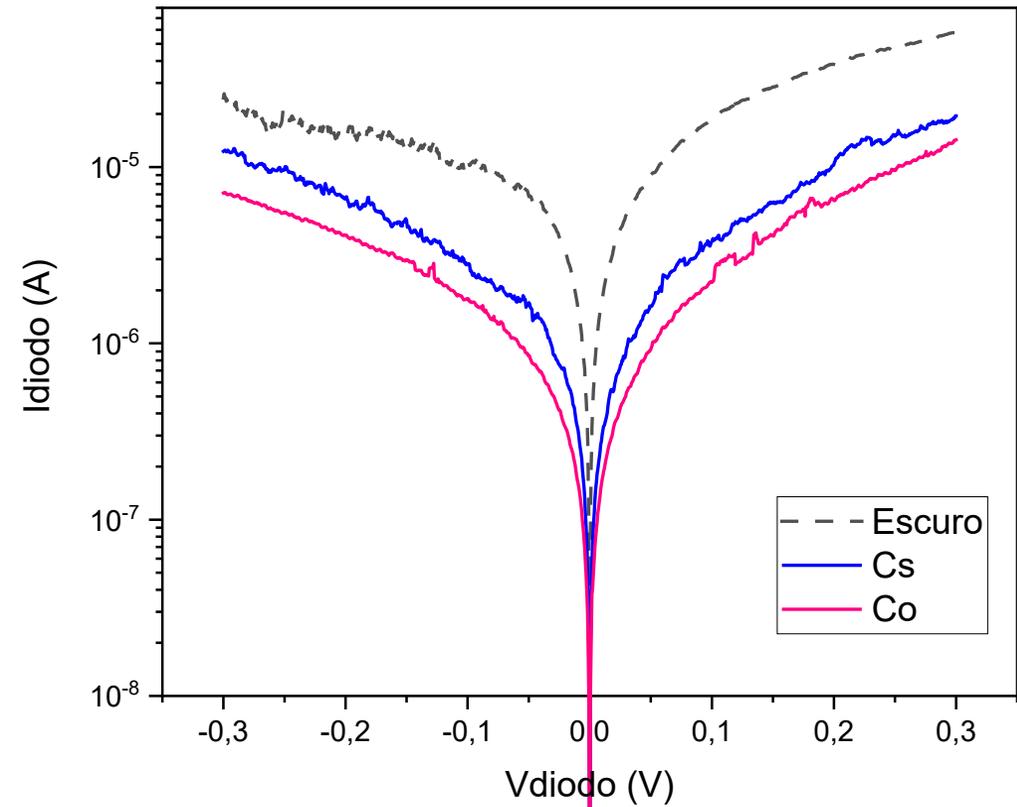
# Análise Elétrica com raios X

- Raios X

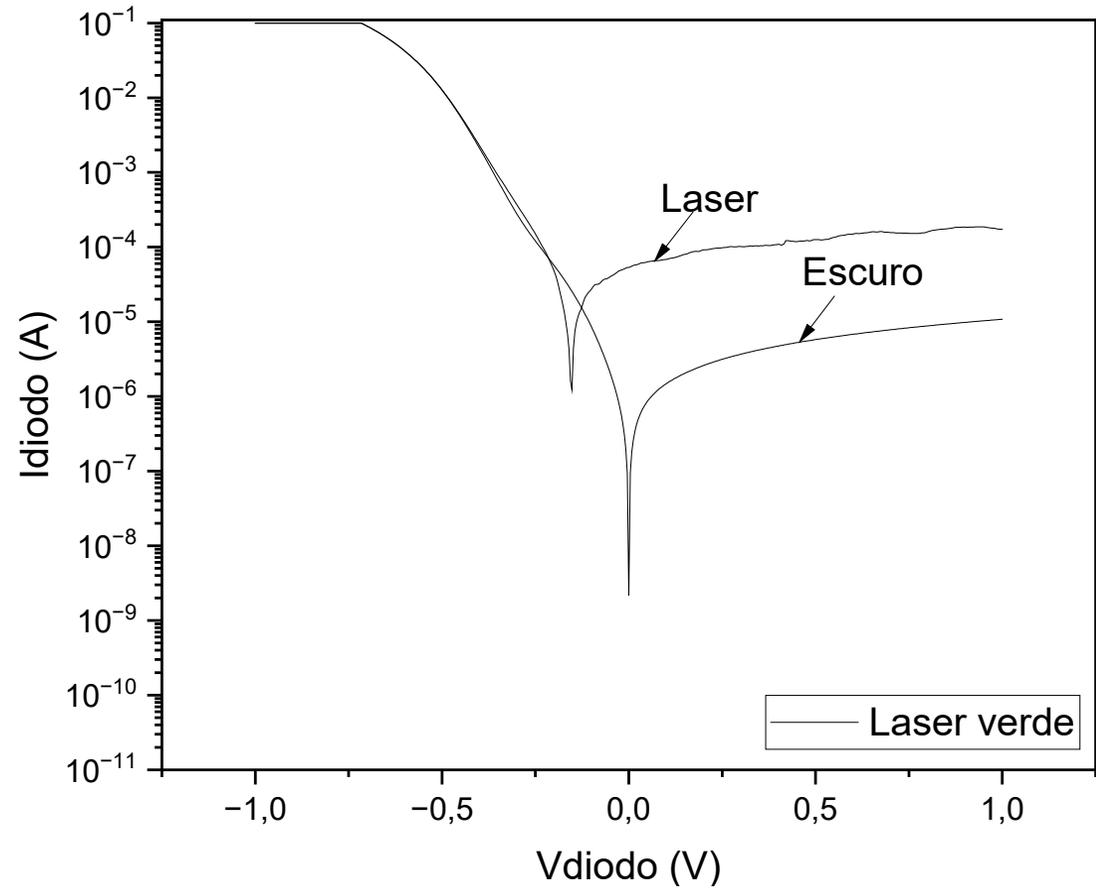
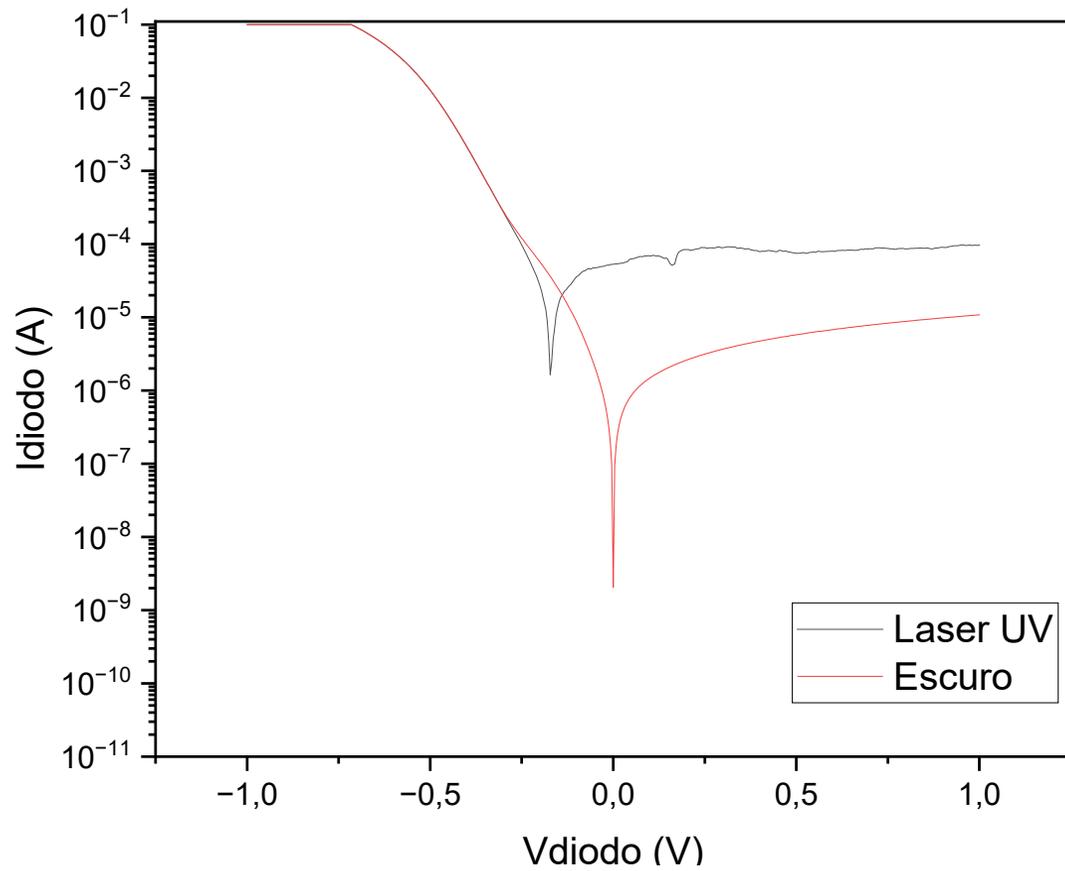


# Análise Elétrica com Fontes radioativas

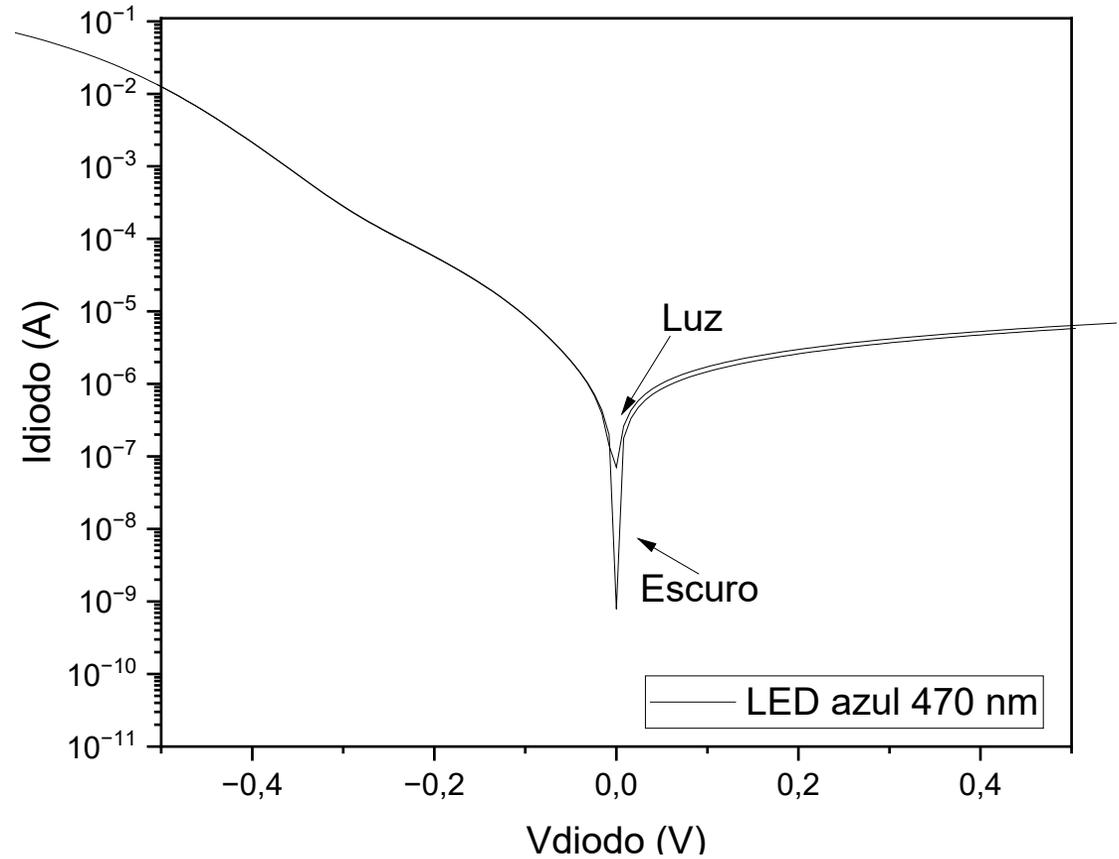
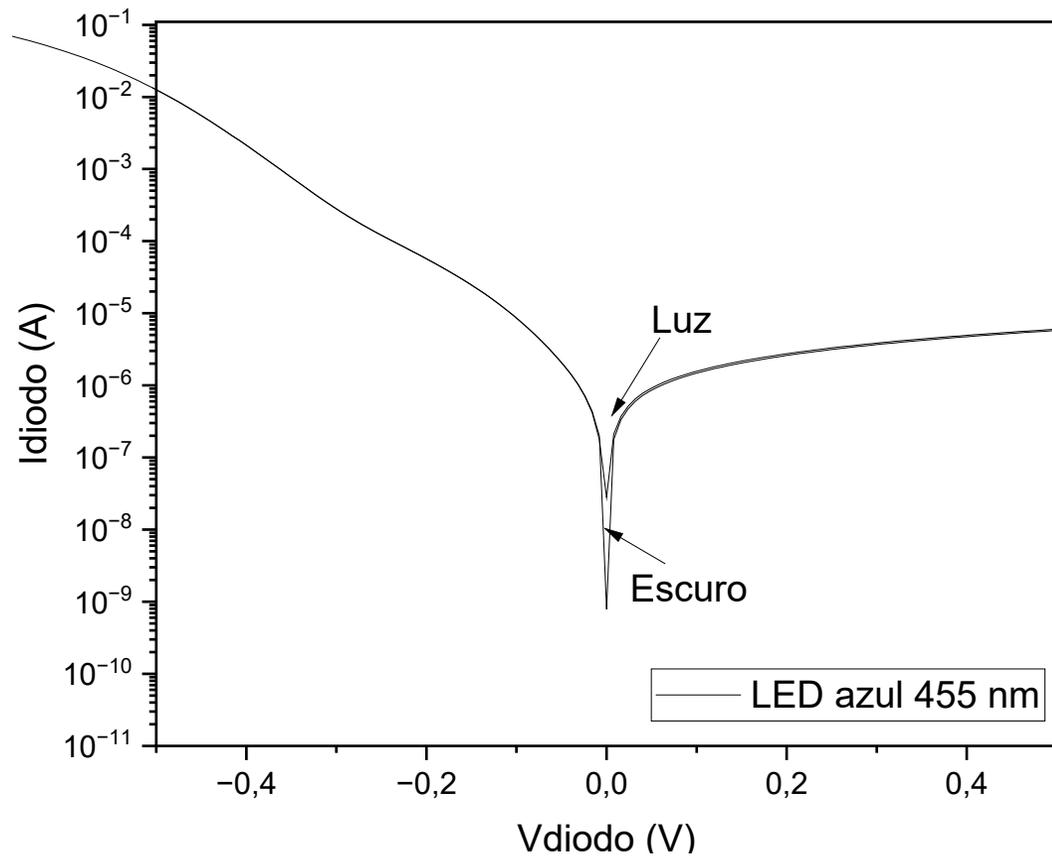
- Fontes de Cobalto e Césio



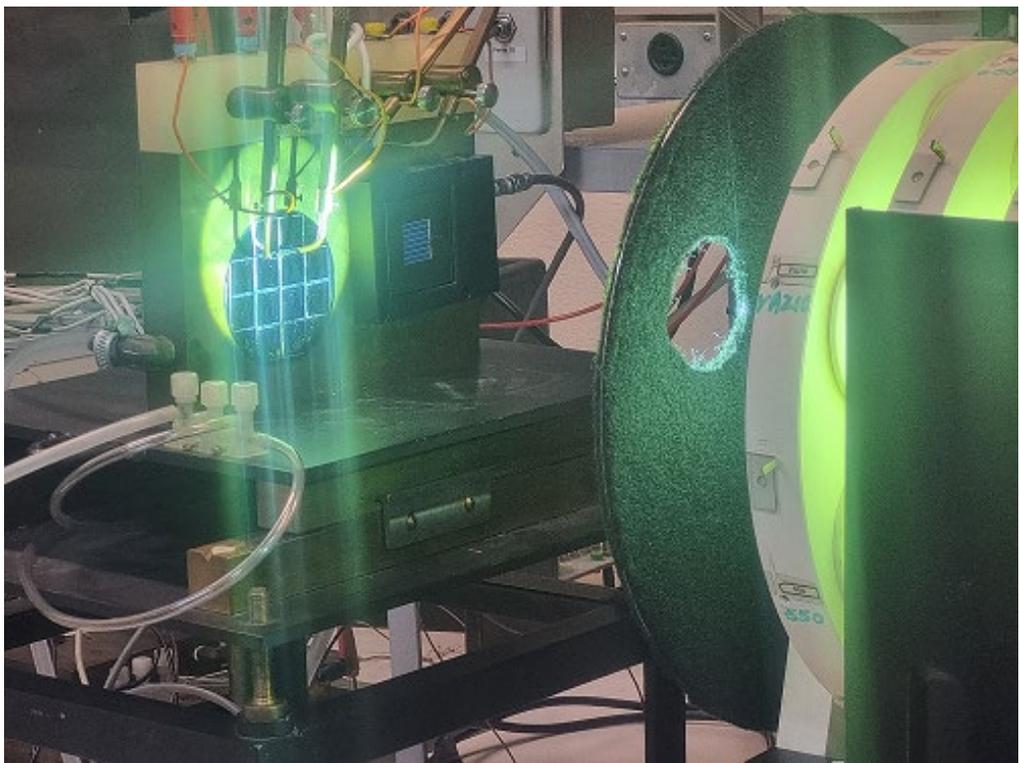
# Análise Elétrica com Laser



# Análise Elétrica com Leds



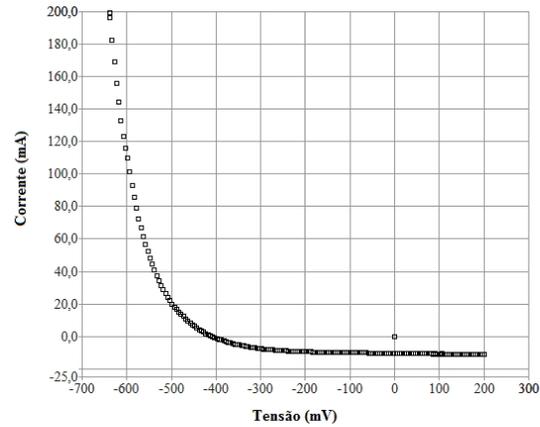
# Teste de camadas de filtro



# Teste de camadas de filtro

Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP - LME/EPUSP

Solicitante: Zambom  
Amostra: PIN12  
Data: 01/01/2002 02:08:01  
Area: 2,250 cm<sup>2</sup>  
Temperatura = 0,00 C  
Operador: Carlos

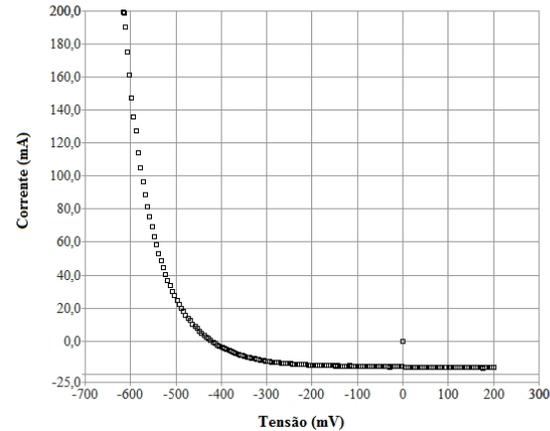


Isc = -10,42 mA  
Voc = -0,4086 V  
Jsc = -4,63 mA/cm<sup>2</sup>  
Pmax = 2,29 mW  
Fator de forma = 0,539  
Eficiência = 1,02

Célula Padrão: Oriel  
Isc: 66,40 mA

Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP - LME/EPUSP

Solicitante: Zambom  
Amostra: PINSIN6  
Data: 01/01/2002 02:02:30  
Area: 2,250 cm<sup>2</sup>  
Temperatura = 24,80 C  
Operador: Carlos

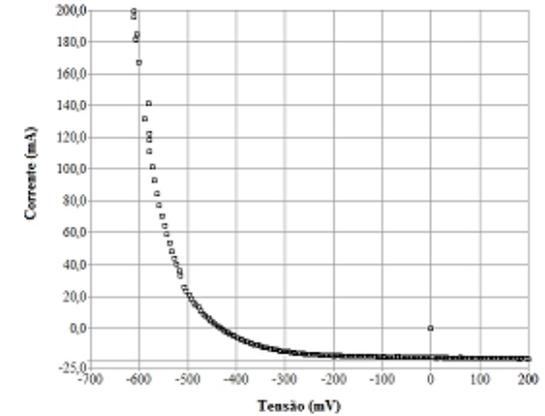


Isc = -15,62 mA  
Voc = -0,4220 V  
Jsc = -6,94 mA/cm<sup>2</sup>  
Pmax = 3,65 mW  
Fator de forma = 0,554  
Eficiência = 1,62

Célula Padrão: Oriel  
Isc: 66,40 mA

Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP - LME/EPUSP

Solicitante: Zambom  
Amostra: PINSIO5  
Data: 01/01/2002 01:55:21  
Area: 2,250 cm<sup>2</sup>  
Temperatura = 24,80 C  
Operador: Carlos



Isc = -18,50 mA  
Voc = -0,4322 V  
Jsc = -8,22 mA/cm<sup>2</sup>  
Pmax = 4,43 mW  
Fator de forma = 0,554  
Eficiência = 1,97

Célula Padrão: Oriel  
Isc: 66,40 mA