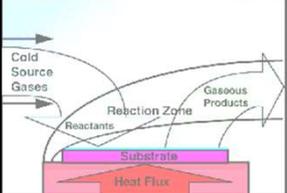




# PSI-5761 Introdução aos Processos de Fabricação em Microeletrônica

Laboratório de Microeletrônica  
Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo

## Deposição de Filmes Finos Parte II - "CVD" (Chemical Vapor deposition)



Cold Source Gases  
Reactants  
Reaction Zone  
Gaseous Products  
Substrate  
Heat Flux

Fernando J. Fonseca sala C2-65 (tel. + 55 11 3091 0730)  
Roberto K. Onmori sala C2-70 (tel. + 55 11 3091 5251)



# Índice

1. - **Resumo da aula anterior**
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O óxido de silício
4. - Cobertura de degraus
5. - Planalização
6. - O Nitreto de Silício
7. - Deposição de Metais
8. - O silício policristalino



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.2

## Resumo - CVD

- Chemical Vapor Deposition
  - deposição química da fase de vapor para obtenção de uma película de filme fino.

É definida como a formação de uma película não volátil, sólida, sobre um substrato, pela reação de reagentes que contém os constituintes necessários.

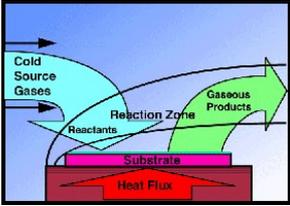
Os filmes devem apresentar as seguintes características:

- Boa uniformidade de espessura.
- Alta pureza e densidade.
- Controle sobre a composição e estequiometria.
- Alto grau de perfeição estrutural.
- Boas propriedades elétricas.
- Boa adesão.
- Boa conformidade.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.3

## O que foi visto na aula passada:

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Significado da palavra “CVD”</li> <li>• Câmara de deposição – visão geral</li> <li>• O gás ideal</li> <li>• Teoria cinética dos gases</li> <li>• O reator “plano”</li> </ul>   | <h3>Reações químicas</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volatilidade</li> <li>• Seleção da deposição</li> <li>• Formação do precursor</li> <li>• “Step coverage”</li> <li>• Reação homogênea e</li> <li>• Reação heterogênea</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte de massa:           <ul style="list-style-type: none"> <li>– Convecção e difusão</li> </ul> </li> <li>• Transporte de Calor           <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mecanismo de transporte de calor</li> <li>– Condução, difusão, convecção e radiação</li> </ul> </li> </ul> | <h3>Tipos de Reatores</h3>   |



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.4

Tabela I – Características e aplicações dos reatores CVD			
Processo	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
APCVD (baixa temperatura )	Reator simples rápida deposição, baixa temperatura	Camada de cobertura pobre de Contaminação de partículas	óxidos de baixa temperatura, ambos dopados ou não.
LPCVD	excelente pureza e uniformidade, camada de cobertura conformal, grande capacidade de área	alta temperatura, baixa taxa de deposição	óxidos de alta temperatura dopados ou não, nitretos de silício, poli-Si, W, WSi <sub>2</sub> .
PECVD	baixa temperatura rápida deposição boa camada de cobertura	Contaminação (eg H <sub>2</sub> ) e de partículas	baixa temperatura isolantes sobre o metal, passivação(nitretos)

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.5

## Índice

1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O óxido de silício
4. - Cobertura de degraus
5. - Planalização
6. - O Nitreto de Silício
7. - Deposição de Metais
8. - O silício policristalino

## Processo CVD

Técnicas de Deposição de Películas CVD atmosférico,  
LPCVD (à pressão reduzida),  
PECVD (assistido por plasma)

Películas de: Silício policristalino (dopado posteriormente por II ou difusão)  
Dióxido de silício (PSG, BPSG, intrínseco ou dopado)  
Nitreto de silício

Características: + uniformidade em espessura  
(desejáveis) + estrutura e composição controlados  
e reprodutíveis



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.7

## Índice

1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O silício policristalino
4. - O óxido de silício
5. - Cobertura de degraus
6. - Planalização
7. - O Nitreto de Silício
8. - Deposição de Metais
9. - O silício policristalino



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.8

## 1 - Silício Policristalino obtido por CVD

- Quando dopado é usado como contato de gate ou interconexões em dispositivos MOS
- Suporta altas temperaturas (o alumínio não)
- Excelente interface com SiO<sub>2</sub> (baixa densidade de estados de interface)
- Boa conformidade
- Utilizado em multiníveis de interconexão
- pode ser oxidado
- Pode se depositar SiO<sub>2</sub> sobre o Si-poli
- Quando dopado pode ter excelente condutividade elétrica
- Levemente dopado pode ter excelente resistividade elétrica

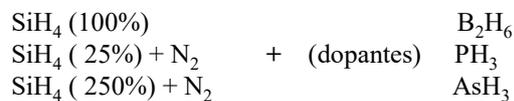
Usos em VLSI:

- eletrodo de porta em estruturas MOS
- resistores de valor elevado
- fontes de difusão para junções rasas
- material condutor em metalização multinível
- importante para assegurar contato ôhmico com silício cristalino



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.9

- grão da ordem de 1000 Å
- pode ser amorfo ou policristalino (microcristalino)
- suas propriedades elétricas dependem basicamente:
  - estrutura policristalina
  - dopagem
- É geralmente obtido pela decomposição térmica da SiH<sub>4</sub> (550 – 650° C)
  - acima de 650° ⇒ baixa aderência (taxa de deposição elevada)
  - abaixo de 550° C ⇒ baixa taxa de deposição e é amorfo



- Dopagem - Difusão (900- 1000° C)
  - I/I
  - in-situ (com os gases dopantes)
- taxas de deposição ~100 a 200 Å / min
- uniformidade ~ 5% na espessura



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.10

$e^- + \text{SiH}_4 \rightarrow \text{SiH}_2 + \text{H} + \text{H} + e^-$

The flux of free radicals on the surface results in an added solid silicon atom on the surface. Volatile products (hydrogen) escape.

LME

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 - CVD II Rkonmori 07.11

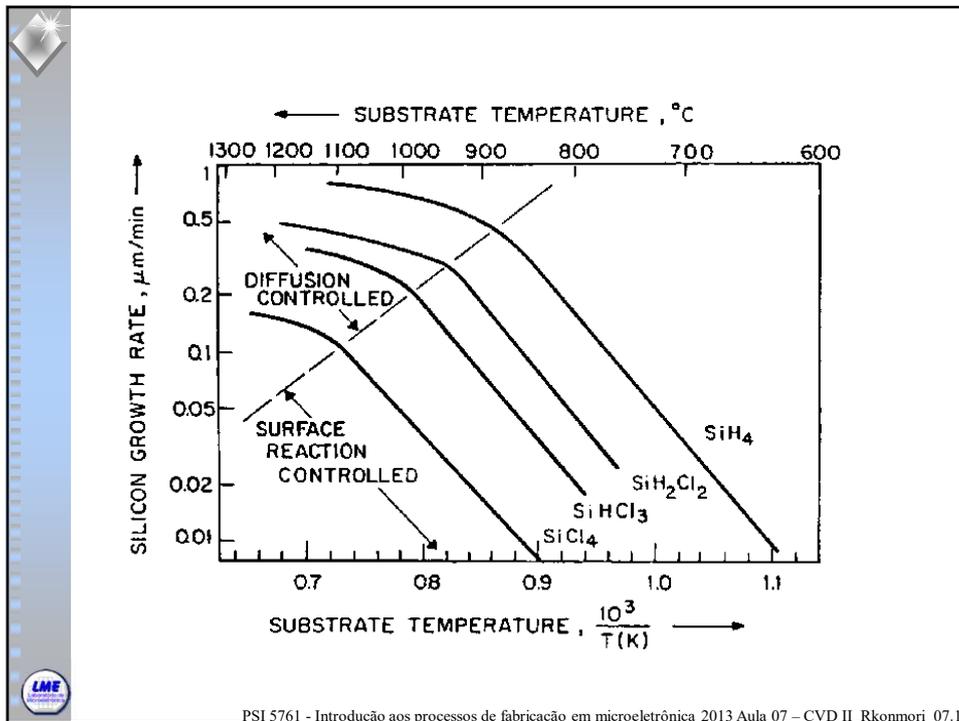
Variáveis de deposição

Temperatura, pressão, concentração de silanas e concentração do dopante são importantes parâmetros que influenciam a taxa de crescimento do Si-poli.

- energia de ativação ~1,7 eV
- Baixas pressões parciais de SiH<sub>4</sub> a faixa útil de T é 600~650° C
- A T maiores, reações na fase gasosa torna-se significativos.
- A taxa de deposição não é função linear da pressão parcial de SiH<sub>4</sub> (concentração).
- O comportamento não linear pode ser devido a efeitos de massa, adsorção de H<sub>2</sub>, etc...

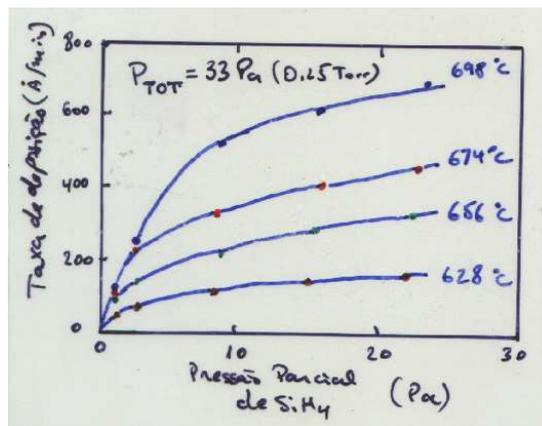
LME

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 - CVD II Rkonmori 07.12



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.13

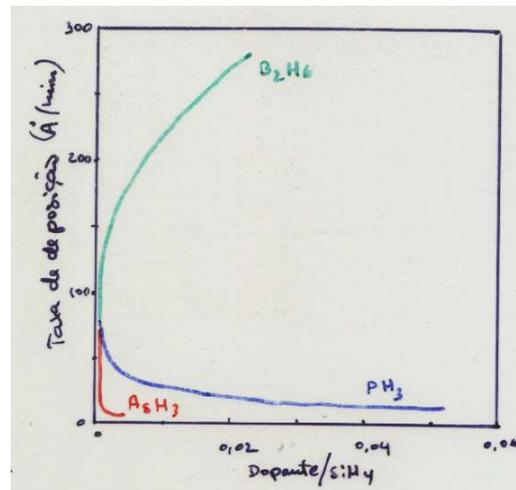
Para pressões parciais de  $\text{SiH}_4$  maiores torna-se importante a nucleação de partículas de silício na fase gasosa



A dopagem do Si-poli é feita ( pode ser feita ) durante o crescimento pela adição de  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  ou  $\text{PH}_3$  ao  $\text{SiH}_4 + \text{H}_2$

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.14

A presença de partes afeta a taxa de crescimento.  
A diborana aumenta a taxa e a adição de arsina ou fosfina diminuem



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.15

## Estrutura do Si-Poli

Dependente de:

- Presença de dopantes/ impurezas (O, N, C)
- Temperatura de deposição
- Ciclos de recozimento térmico

Si-Poli depositado < 575° C - amorfo

Depositado > 625° C - policristalino com estrutura colunas

Recozimento a 700° C ou mais

- formação de grãos cristalinos - cristalização

Si-Poli contendo (O, N, C) resiste à cristalização até ~ 1000° C ,  
e contendo As - 900° C

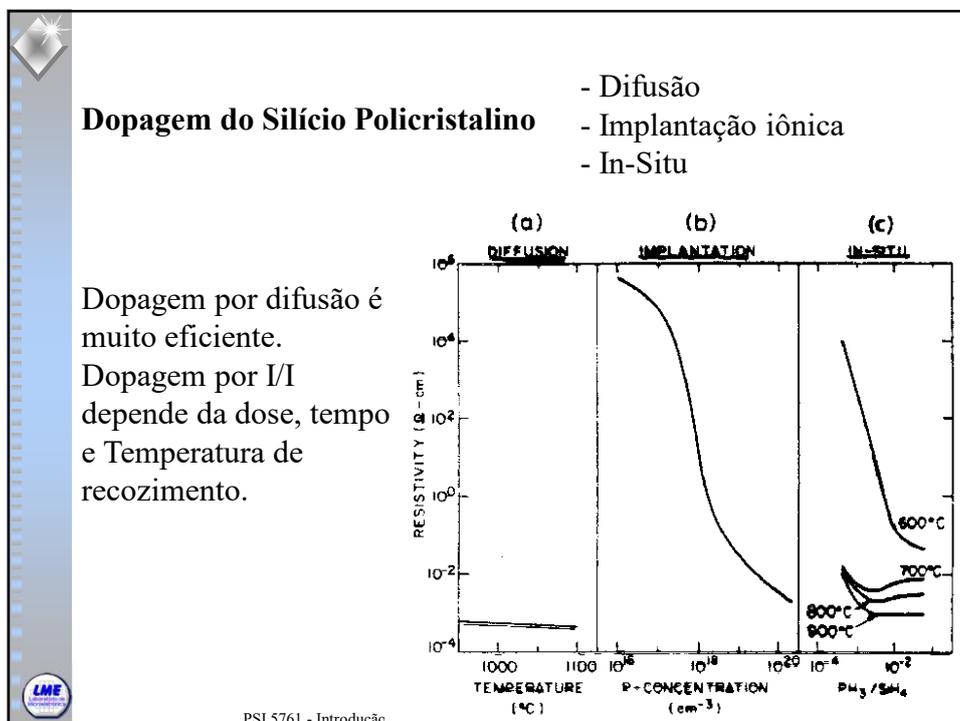
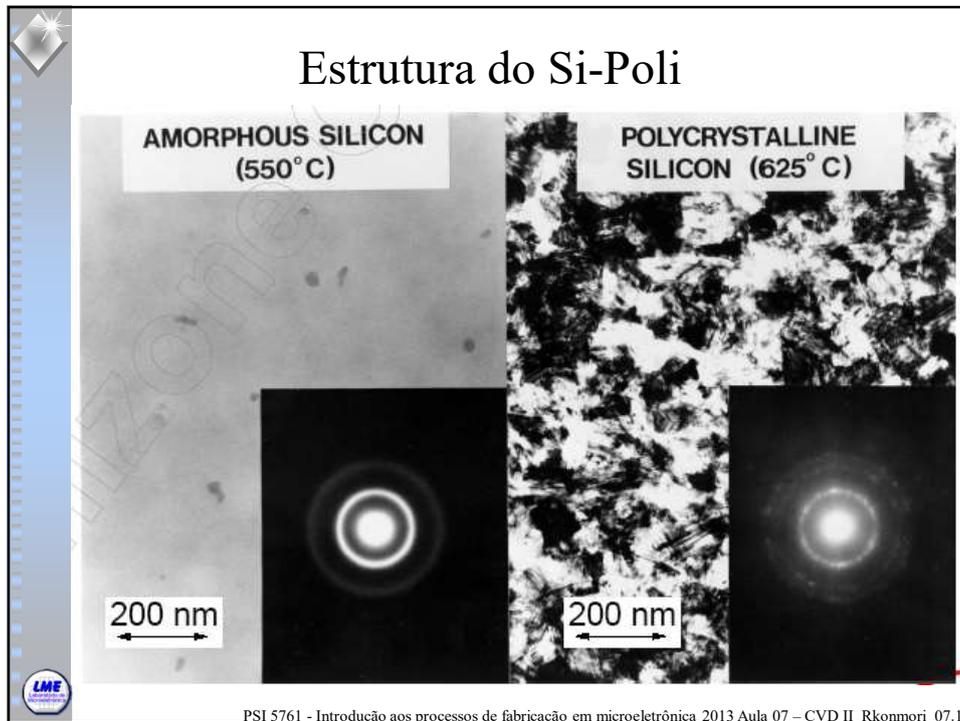
Recozimento a 600~650° C - orientação <110> (grãos)

Acima de 650° C - predomina <100>

mas há grãos de <111> , <311> e <331>

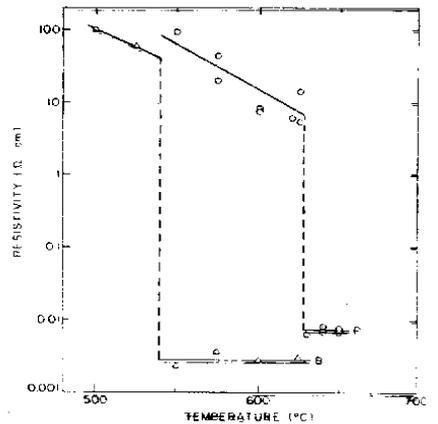
Tamanho de grão 0,5 μm a 1 μm

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.16



Dopagem in-situ, é feita com  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  e é fortemente dependente da temperatura, fração molar do dopante (gás) na mistura de reagentes e temperatura de recozimento.

A transição vista na fig. anterior se deve a que, em baixas temperaturas, a estrutura é amorfa. Acima de  $\sim 700^\circ\text{C}$  a estrutura se torna colunar com boa incorporação de dopantes.



A fig. ao lado evidencia em transição que ocorre tanto para dopagem com  $\text{PH}_3$  como para  $\text{B}_2\text{H}_6$ .

$T_{\text{transição}} \sim 625^\circ\text{C}$  p/ fósforo

$T_{\text{transição}} \sim 550^\circ\text{C}$  p/ boro



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.19

## Índice

1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O silício policristalino
4. - O óxido de silício
5. - Cobertura de degraus
6. - Planalização
7. - O Nitreto de Silício
8. - Deposição de Metais



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.20

## Óxido de Silício Obtido por CVD

Este material é largamente obtido por CVD.

Utilizações:

- com fósforo, usado como isolante entre camada de metal
- camada de passivação (PSG)
- fonte para “gettering”
- c/ As, B, P são usados como fontes de difusão
- camadas de isolamento entre níveis de metais
- mascaramento nos processos de difusão e I/I.
- como camada para bloquear contra a exo-difusão em processos térmicos (penetração, p.ex)
- aumentar a espessura de óxido de campo.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.21

- Os óxidos usados como isolantes entre camadas condutores são depositados, densificados por recozimento e decapados para abrir vias.
- Os óxidos refluídos (PSG) são aquecidos entre 1000° C e 1100° C para que o óxido flua, de modo a resultar em topografias sem grandes desníveis para melhorar a cobertura de degraus na metalização.
- PSG usado para passivação é, geralmente depositado a < 500° C.

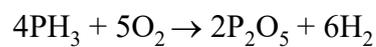
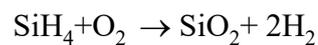


PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.22

## MÉTODOS DE DEPOSIÇÃO

Segundo o uso final, os óxidos são depositados em temperaturas diferentes, reatores diferentes e a partir de compostos diferentes.

- As películas depositadas a  $T < 500^\circ \text{C}$



O processo pode ser à pressão ambiente ou reduzida (LPCVD)

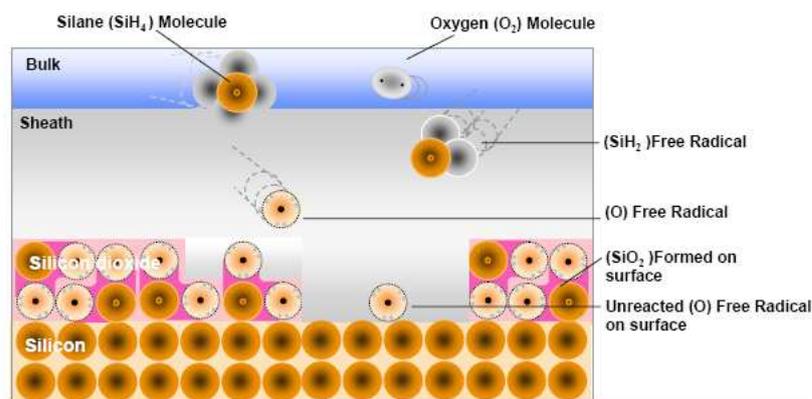
Vantagem do processo → baixas temperaturas

Desvantagens → má cobertura de degraus, partículas das paredes.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.23

- Free radicals deposit on the wafer surface and chemically combine to form a layer of material.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.24

	Óxido térmico	PECVD	APCVD	SiCl <sub>4</sub> H <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O (LPCVD)	TEOS (LPCVD)
Temp. de deposição (°C)	800-1200	200	450	900	700
Cobertura de degrau	conforme	boa	má	conforme	conforme
STRESS (x10 <sup>9</sup> dynes/cm <sup>2</sup> )	3C	3C-3T	3T	3T	1C
Rigidez Dielétrica (10 <sup>6</sup> V/cm)	3-6	8	10	10	-
Taxa de decapagem (Å/min)		400	60	30	30

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.25

SiO<sub>2</sub> depositado a baixa temperatura (200 - 450° C )

- SiH<sub>4</sub>+O<sub>2</sub>
- N<sub>2</sub>O + SiH<sub>4</sub>
- APCVD, LPCVD ⇒ (300-450° C )
- PECVD ⇒ (200-400° C )
- PSG, BSG, BPSG.

As propriedades são piores comparado as das películas obtidas por oxidação térmica.

SiO<sub>2</sub> depositado a média temperatura (650 - 750 ° C )

- LPCVD
- TEOS
- Decomposição térmica do tetraetil-ortosilicato (TEOS)
- Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.26

- Uma outra abordagem ao problema é a deposição de películas de SiO<sub>2</sub> a partir de TEOS, tetraetilontosilicato, em equipamentos do tipo LPCVD, realizado entre 650~750° C.  
O TEOS é uma fonte líquida e isso, por si, já é uma vantagem.



Os subprodutos são uma mistura de compostos orgânicos e organo-silicos.

SiO<sub>2</sub> obtido por este processo é adequado para depositar camada isolantes sobre Si-Poli mas não sobre alumínio.

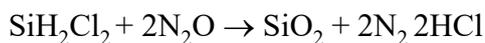
Vantagens → excelente uniformidade, cobertura de degrau excelente e filmes com boas propriedades.

Desvantagens → temperaturas elevadas. \* Necessidade de um vaporizador para a fonte.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.27

O dióxido de silício pode ser depositado a partir do óxido nitroso e diclorosilana a 900° C e pressão reduzida – LPCVD



Vantagem → excelente uniformidade

desvantagem → \* conteúdo (mínimo) de Cloro na película depositada → "stress" e reação c/ Si-Poli



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.28

DOPAGEM → Pela adição de  $\text{PH}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$ ,  $\text{AsH}_3$  Durante a deposição.

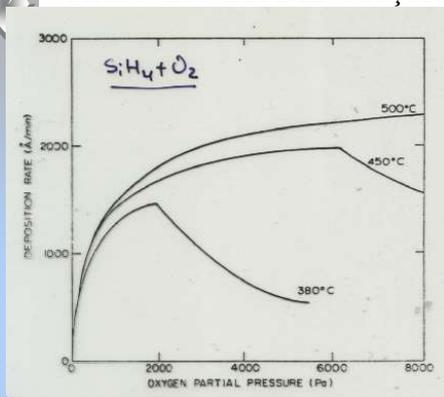
- Óxidos para servirem como fonte de Difusão  
→ 5 A 15% em peso de dopantes.
- Óxidos para Passivação/ Isolação Entre Níveis  
→ 2 a 8% em peso de fósforo.
- Óxidos para refluir  
→ 6 a 8% em peso de fósforo.

Concentração menor causar problemas de confiabilidade devido à lenta reação com umidade (eventual) no encapsulamento e formar produtos ácidos.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.29

### VARÍAVEIS DA DEPOSIÇÃO DO $\text{SiO}_2$

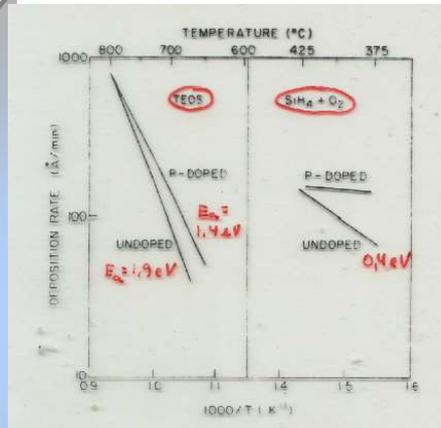


Temp, Pressão, concentração de reagentes e dopantes.  
Dependência com T, energia de ativação pequena (0,4 eV) é menor que as que ocorrem com reações químicas.  
→ Adsorção física.

Dependência complexa com o oxigênio (fig. acima). Inicialmente a taxa aumenta com aumento de  $\text{Po}_2$ , atinge um máximo e diminui.  
→ Efeito associado com reações catalisadas pela superfície. Em elevadas  $\text{PO}_2 \rightarrow \text{O}_2$  é absorvido na superfície e bloqueia reação. Esses efeitos ocorrem p/ deposição à  $P_{\text{atmosférica}}$  e  $P_{\text{reduzida}}$  para decomposição da Silana em meio a oxigênio.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.30

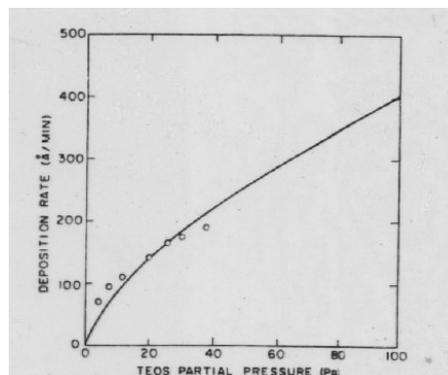


Como se observa na fig. ao lado as energias de ativação são muito menores no caso da reação silana-oxigênio.

As diferenças se observam também nas temperaturas dos processos. Enquanto que deposição com TEOS a faixa de temperatura é entre 650° C e 750° C, no caso da reação silana + oxigênio a faixa é entre 300~450° C.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.31



Nos processos com TEOS, a taxa de deposição depende de sua pressão parcial. O comportamento dessa taxa mostra uma tendência à saturação com o aumento de  $P_{TEOS}$  que tem origem nas reações catalisadas por efeitos de superfície. A baixas  $P_{TEOS}$ , a taxa de deposição é controlada pela taxa de reação na superfície. A  $P_{TEOS}$  elevadas a superfície tende a se saturar com TEOS absorvido e a taxa de deposição torna-se dependente da pressão parcial (fig.acima)



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.32

Os processos mais difíceis de controlar são os partem da  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  que tem forte dependência não linear com a pressão que, por sua vez, é função da geometria do reator e da posição das lâminas de silício naquele (LPCVD).

Torna-se, também, difícil com este processo obter óxidos dopados. Já que este processo exige altas temperaturas e que a adição de fosfina (fósforo) provoca grandes variações na uniformidade de espessura, só reatores muito especiais, dotados de meios para garantir fluxo uniforme de gases sobre os substratos podem resultar em boas camadas dopadas.

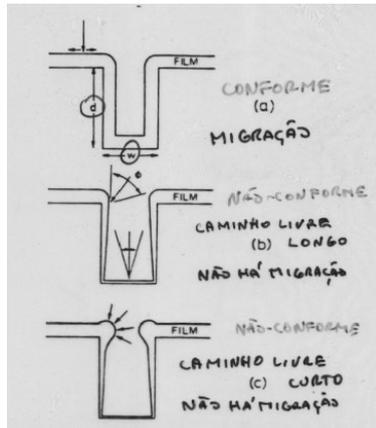


## Índice

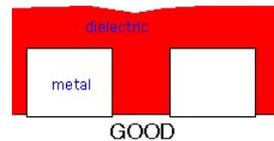
1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O silício policristalino
4. - O óxido de silício
5. - Cobertura de degraus
6. - O Nitreto de Silício
7. - Planalização
8. - Deposição de Metais



### COBERTURA DE DEGRAUS (Step coverage)

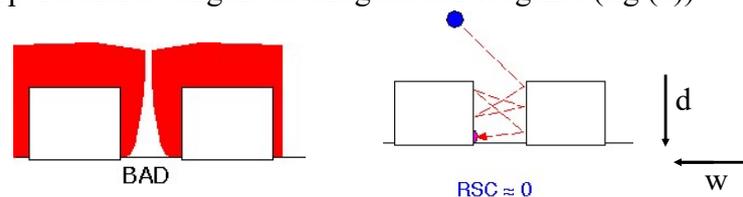


A cobertura conforme é aquela em que ao longo das paredes da topografia há uma mesma espessura de película depositada, incluindo o fundo. Este tipo de cobertura ocorre quando os reagentes/intermediários são absorvidos e rapidamente migram sobre toda a superfície antes de completar a reação (fig. (a) ao lado).



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.35

Quando os produtos são absorvidos e reagem sem migração significativa na superfície, a taxa de deposição localizada é proporcional ao ângulo de chegada dos reagente (fig.(b)).



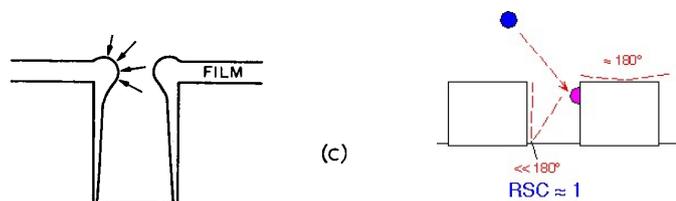
O ângulo de chegada em duas dimensões na superfície horizontal de topo é 180°. No topo da superfície vertical, o ângulo de chegada é 90°. Assim a espessura é reduzida à metade. Ao longo da parede vertical, o ângulo de chegada é determinado pela largura da abertura e a espessura, proporcional ao ângulo é calculada de

$$\phi = \arctan w/d$$

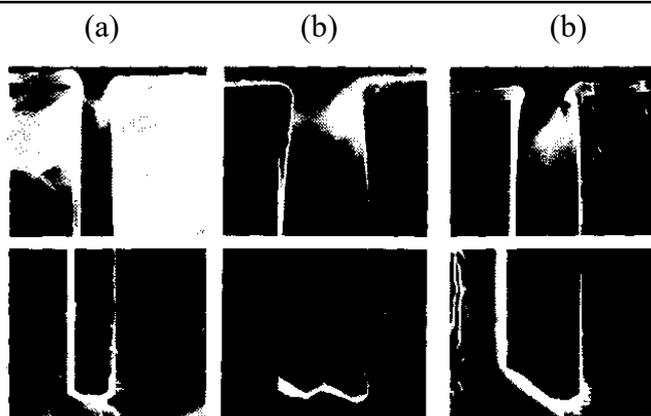
Este tipo de cobertura pode resultar em descontinuidade em sua base de vidro ao auto-sombreamento.

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.36

A fig. (c) é o pior caso. Nesse caso, há também um caminho livre médio curto das moléculas do gás, menor que as dimensões do degrau. O ângulo de chegada é  $270^\circ$ , originando um depósito mais espesso. Essa cúspide espessa no topo do degrau e a base propensa à fissura são difíceis de cobrir com metal.



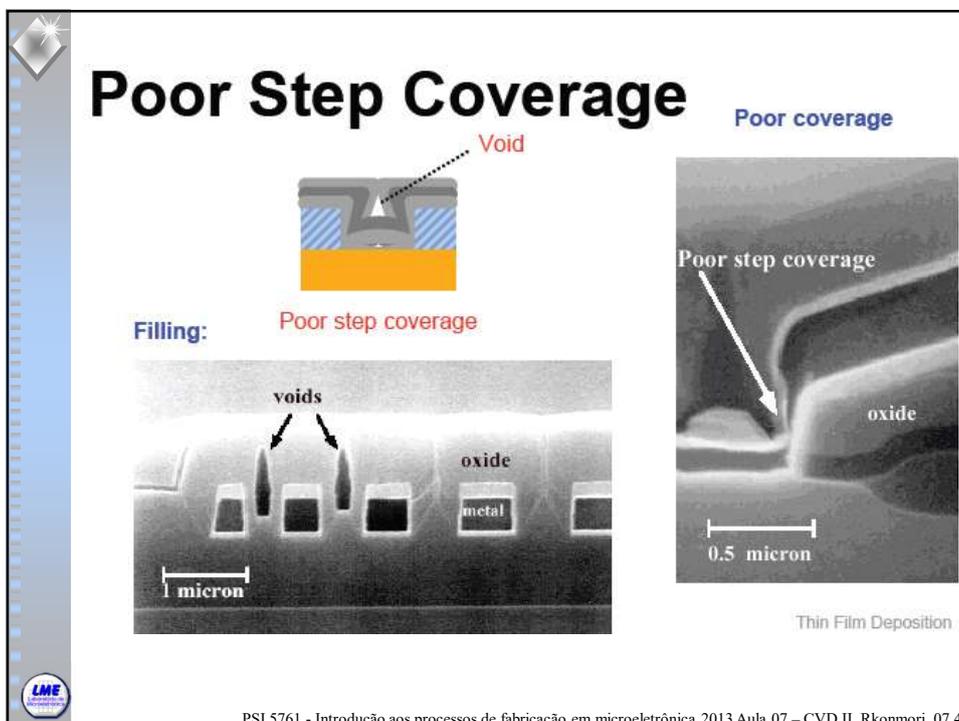
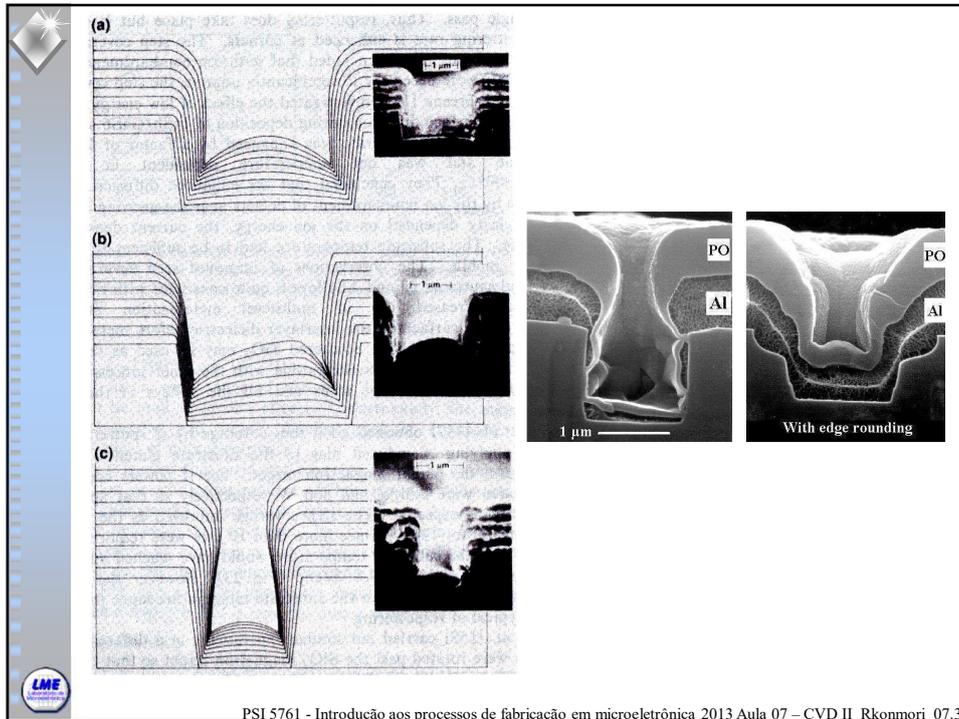
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.37



TEOS 700°C     $\text{SiH}_4 + \text{O}_2$  450°C LP     $\text{SiH}_4 + \text{O}_2$  480°C AP

A fig. acima mostra exemplos reais de coberturas de degrau. A mostras de Si  $\langle 110 \rangle$  com degraus são cobertas com  $\sim 1\mu\text{m}$  de óxido de silício.

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.38



## Resumindo:

TEOS → cobertura conforme, o processo LPCVD tem característica de resultar em caminho livre médio de várias centenas de  $\mu\text{m}$  ( a  $700^\circ\text{C}$  e 30 Pa).

$\text{SiH}_4 + \text{O}_2$  (LPCVD) → caminho livre médio muito grande (centenas de microns) nas migrações insuficientes devido a baixa T. A cobertura tem suas características determinadas pelo angulo de chegada. Reduzida conformidade

$\text{SiH}_4 + \text{O}_2$  ( $P_{\text{ATMOSFÉRICA}}$ ) → caminho livre médio muito curto. ( $< 0,1 \mu \rightarrow$  não conforme. Problemas na metalização).



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.41

## $\text{SiO}_2$ depositado a altas temperaturas ( $\sim 900^\circ\text{C}$ )

- LPCVD
- Diclorosilima + óxido nitroso  
 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2 + \text{N}_2\text{O}$
- Excelente uniformidade e conformidade
- Propriedades próximas as das películas obtidas por oxidação térmica.
  
- Após T.T. a  $1100^\circ\text{C}$  por 20 minutos em  $\text{H}_2\text{O}$  (vapor)
- Amostras com cobertura de PSG com diferentes concentrações de fósforo (em peso).



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.42

## Índice

1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O silício policristalino
4. - O óxido de silício
5. - Cobertura de degraus
6. - Planalização
7. - O Nitreto de Silício
8. - Deposição de Metais



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.43

## ESCOAMENTO DE PSG (vidros de fosfosilicato)

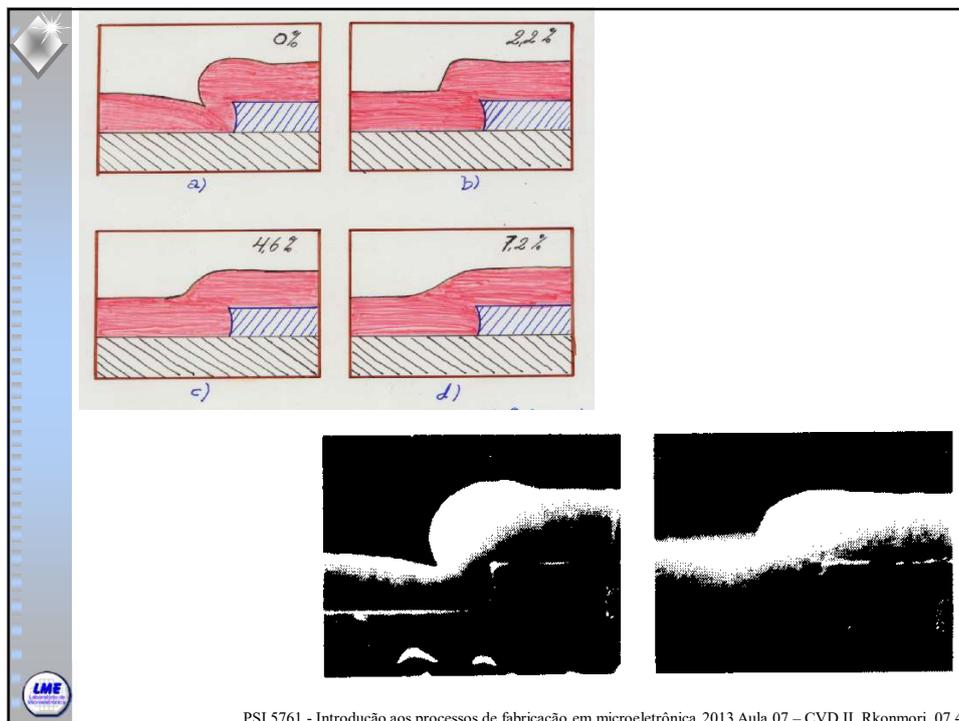
Usado como isolante entre portas de Si-Poli e o nível superior de metalização. O escoamento é realizado para corrigir os problemas de má cobertura de degrau do  $\text{SiO}_2$  dopado com fósforo.

O escoamento depende de variáveis como:

- Tempo de recozimento
- temperatura e taxa de aquecimento
- concentração de fósforo
- ambiente de recozimento



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.44



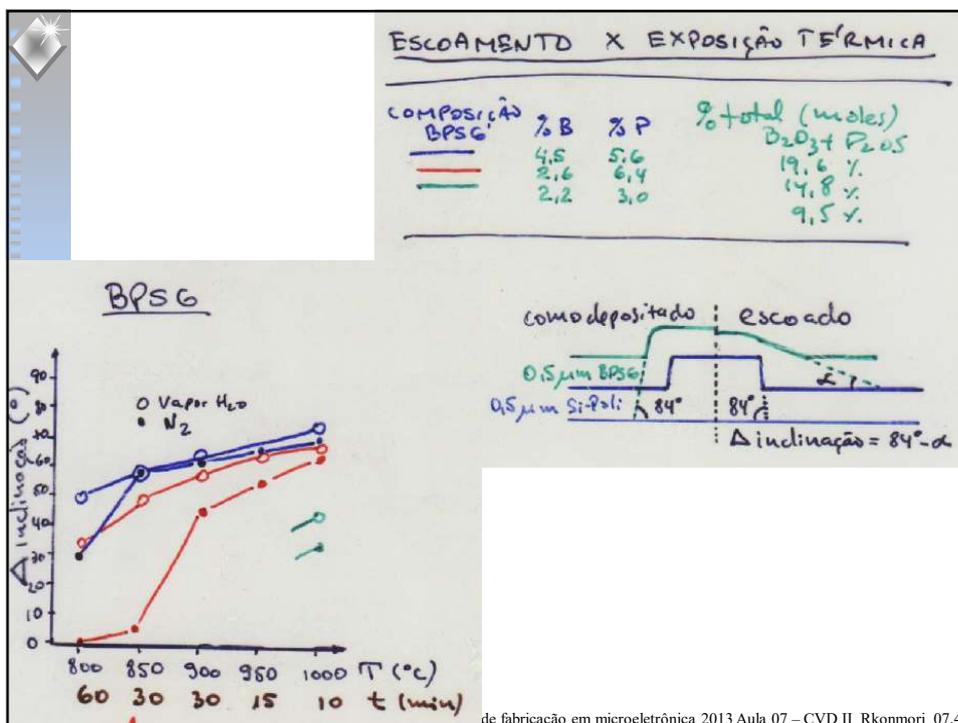
## BPSG

A adição de boro  $\rightarrow$   $B_2O_3/P_2O_5/SiO_2 \rightarrow$  BPSG permite reduzir a viscosidade da película de óxido a uma dada temperatura.

Experimentos de escoamento mostram que películas com 3,4% B e 4,5% P tem o mesmo comportamento no processo que PSG a 7%.

PROPRIEDADES DOS FILMES DEPOSITADOS DE SiO <sub>2</sub>				
DEPOSIÇÃO	PLASMA	SiH <sub>4</sub> + O <sub>2</sub>	Teos	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O
T (°C)	200	450	700	900
Composição	SiO <sub>1,9</sub> (H)	SiO <sub>2</sub> (H)	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> (Cl)
Cobertura	Não -conforme	Não -conforme	conforme	conforme
Estabilidade Térmica	Perde H	densifica	estável	Perda Cl
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,3	2,1	2,2	2,2
n	1,47	1,44	1,46	1,46
Stress (10 <sup>9</sup> dyn/cm <sup>2</sup> )	3C-3T	3T	1C	3C
Rigidez dielétrica MV/cm	3-6	8	10	10
taxa de decapagem (Å/Min) H <sub>2</sub> O:HF (100:1)	400	60	30	30

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.47



O ambiente influência fortemente no escoamento

- em vapor de água (30 min, 850° C) uma mudança de 49° C, ao passo que em N<sub>2</sub> apenas uma mudança de 7° C para as mesmas condições (30 min, 850° C).



## Índice

1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O silício policristalino
4. - O óxido de silício
5. - Cobertura de degraus
6. - O Nitreto de Silício
7. - Planalização
8. - Deposição de Metais

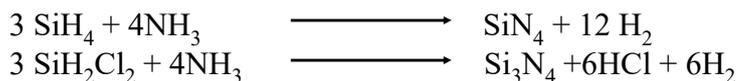


## NITRETO DE SILÍCIO

$\text{Si}_3\text{N}_4$  estequiométrico usado para passivação por ser excelente barreira contra água e sódio.

O nitreto de silício →

usado como máscara para oxidação seletiva do Si.



### VARIÁVEIS DE DEPOSIÇÃO

T, Pressão, concentração de reagentes

A dependência da taxa de crescimento com a temperatura é similar à do Si-Poli  $E_a = 1,8 \text{ eV}$

A taxa de crescimento aumenta com a pressão total ( $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3$ ) ou com a pressão parcial de triclorosilana. Diminui com o aumento da razão  $\text{NH}_3/\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ .



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.51

## PROPRIEDADES DO NITRETO DE SILÍCIO CVD

O nitreto de silício depositado (a partir de  $\text{SiH}_4$ )

entre  $700^\circ$  a  $900^\circ \text{ C}$  é um dielétrico amorfo que contém até cerca de 8% de H.

O nitreto obtido da reação  $\text{DCS} + \text{NH}_3$  apresenta elevado

conteúdo ( em excesso) de Si quando a razão  $\text{NH}_3/\text{DCS}$  é pequena → resulta em redução da resistividade.

$n_{\text{sin}} \rightarrow 2,01$  e taxa de remoção com HF diluído  $< 10 \text{ \AA}^2/\text{min}$ .

$n_{\text{elevado}} \rightarrow$  excesso de Si

$n_{\text{baixo}} \rightarrow$  contaminação com oxigênio, eleva a taxa de decapagem

$\text{SiN} \rightarrow$  altos coeficientes de “stress” tensil ( $1 \times 10^{10} \text{ dyn/cm}^2$ )

Películas  $> 2000 \text{ \AA}$  freqüentemente racham

$\rho_{(25\text{C})} \sim 10^{16} \text{ ohm.cm}$

$\text{SiN} \rightarrow$  excelente barreira contra sódio



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.52

## Nitreto de Silício obtido por CVD

- é um material isolante e amorfo
- passivação final e proteção do Si
- dielétrico do porta
- é uma barreira impermeável (Na principalmente)
- baixo “strees”
- boa conformidade
- boa densidade e poucos “pinholes”



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.53

## Deposições assistidas por Plasma

Característica deposição de filmes a baixas temperaturas

A energia para a reação provem de uma descarga (luminescente) .

Com esse processo, a temperatura das amostras fica entre 100° a 400° C embora a temperatura dos elétrons no plasma pode chegar a 100.000° C.

Deposições freqüentemente usadas em VLSI – SiN e SiO<sub>2</sub>

Plasma SiN encapsulamento passivação final, é resistente a riscos, é barreira contra contaminação de sódio, é compatível com a metalização porque pode ser depositado a 300~350° C



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.54

Propriedades do Nitreto de silício		
Método	LPCDV	Plasma
Temperatura (°C)	700 ~ 800	250 ~ 350
Composição	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (H)	Si <sub>x</sub> N <sub>y</sub>
Si/N (gases)	0,75	0,8 ~ 1,2
H(%at.)	4 ~ 8	20 ~ 25
n	2,01	1,8 ~ 2,5
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,9 ~ 3,1	2,4 ~ 2,8
Constante dielétrica	6 ~ 7	6 ~ 9
ρ (ohm.cm)	10 <sup>16</sup>	10 <sup>6</sup> ~ 10 <sup>15</sup>
Rigidez dielétrica (MV/cm)	10	5
Banda proibida (eV)	5	4 ~ 5
Stress (10 <sup>9</sup> dyn/cm <sup>2</sup> )	10 T	2 – 5 T

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.55

### Variáveis de deposição

$\text{SiH}_4 + 4\text{N}_2\text{O} - (\text{plasma Ar}) - \text{SiO}_2 + 4\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$   
 $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3 - (\text{plasma Ar}) - \text{SiNH} + 3\text{H}_2$   
 $2\text{SiH}_4 + \text{N}_2 - (\text{plasma Ar}) - 2\text{SiNH} + 3\text{H}_2$

- Frequência (fraca dependência) 13,56 MHz
- Espaçamento entre eletrodos
- Potência de descarga
- Pressão total, pressão parcial dos reagentes
- Velocidade de bombeamento
- Temperatura do substrato
- Geometria do reator/materiais

Taxa de deposição no filme

SiN (13,56 MHz)  $4 \times 10^9$  dyn/cm<sup>3</sup> tensile  
 SiN (50 KHz)  $2 \times 10^9$  dyn/cm<sup>3</sup> compressivo

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori\_07.56

## Propriedades das películas depositadas por plasma

Elevadas concentrações de hidrogênio, p.ex SiN pode conter entre 10 a 35 % átomos de hidrogênio

Normalmente a concentração nas películas usadas de VLSI é de 20 a 25% at.

O hidrogênio se liga ao silício e ao nitrogênio Si-H; N-H

O SiN contem oxigênio como impureza entre 0,5 a 2,0 % at.

O conteúdo de N, H e ligações Si:H depende fortemente das condições de deposição

No caso do SiO, as concentrações de hidrogênio variam de 2 a 9% at.

O hidrogênio se liga SiH, Si-OH e H<sub>2</sub>O.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.57

As variações na composição causam grandes mudanças nas propriedades das películas.

Uma das mais importantes características do SiN é o stress que pode resultar em microfraturas ns etapas de solda.

Podem ser obtidos filmes com baixo stress, cerca de  $2 \times 10^9$  dyn/cm.

O processo é que determina o tipo de stress da película.

A resistividade do SiN (plasma) pode variar, dependendo do processo, de  $10^5$  at'e  $10^{21}$  ohm.cm.



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.58

## Índice

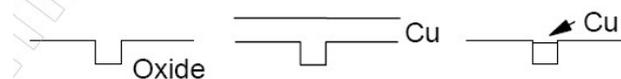
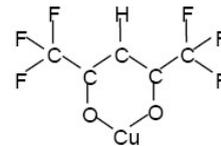
1. - Resumo da aula anterior
2. - Onde usamos o CVD?
3. - O silício policristalino
4. - O óxido de silício
5. - Cobertura de degraus
6. - O Nitreto de Silício
7. - Planalização
8. - **Deposição de Metais**



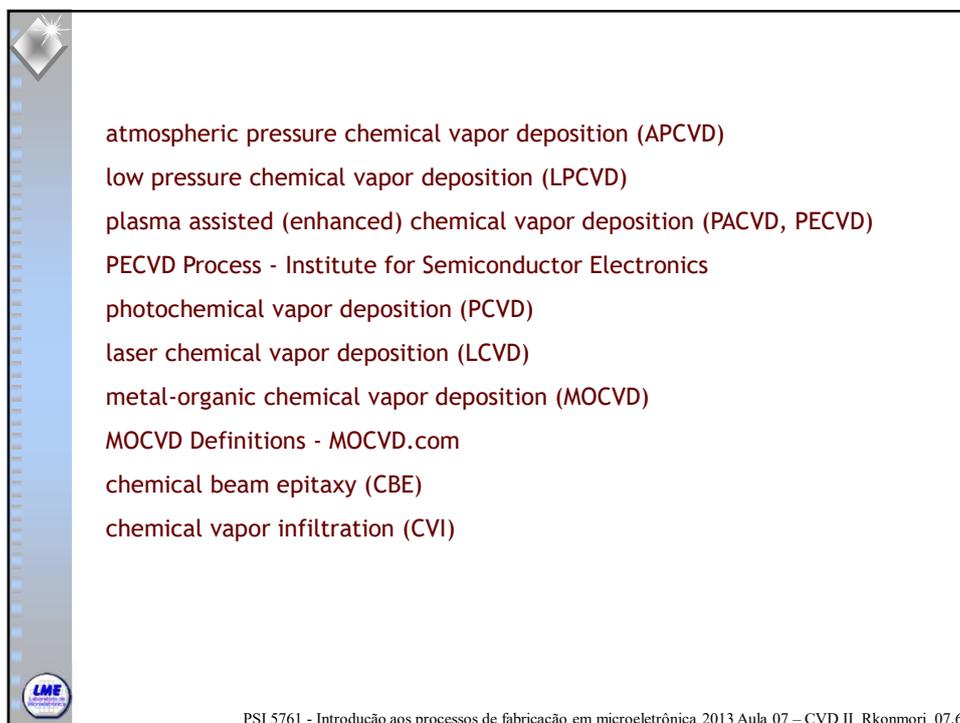
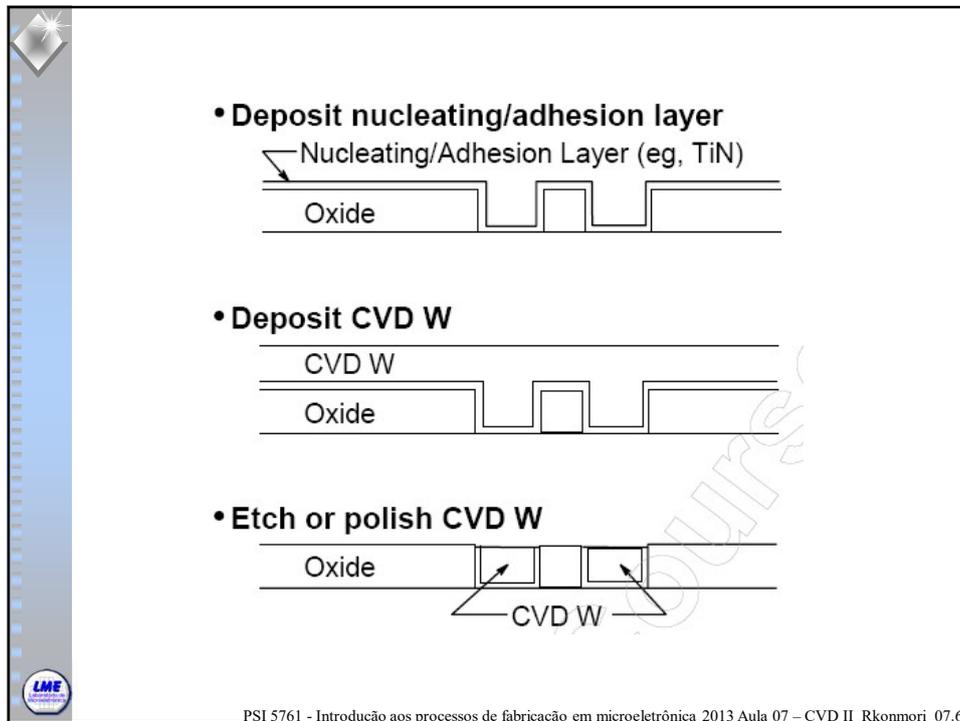
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.59

### CVD Copper

- **Complex precursors:** Cu(hfac)
  - copper(I) hexafluoroacetylacetonate
- **Process integration**
  - Barrier and seed layer continuity
  - Control of crystal orientation (electromigration)
  - Dry etching of Cu difficult
    - CuF, CuCl have low vapor pressure
  - Use CMP with Damascene process



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2013 Aula 07 – CVD II Rkonmori 07.60





## Tema de artigo:

Tema de artigo: 1) Materiais depositados por CVD - metálicos:

- técnicas de medidas (in situ)
  - da taxa de deposição
  - material (plasma ou depositado) .....
- novos materiais....

