

## ESTUDO DO IMPACTO DE AIR GAPS NAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS DAS INTERCONEXÕES DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Roberto Lacerda de Orio, Taffarel C. Ewald\*

### Resumo

Segundo a contínua miniaturização dos transistores em circuitos integrados, as interconexões dos CIs também sofrem uma redução contínua em suas dimensões, causando um aumento nos tempos de propagação dos sinais, o que limita sua frequência de operação. Para garantir o desempenho dos próximos nós tecnológicos, é necessária a redução das capacitâncias parasitas da estrutura de interconexões, sendo uma das estratégias utilizadas, a introdução de regiões vazias, denominadas air gaps. Esse projeto de pesquisa visa avaliar o impacto das formas de integração implementadas atualmente, a partir da caracterização elétrica das linhas metálicas de CIs através de simulação.

### Palavras-chave:

Interconexões, Circuito Integrado, Air Gap.

### Introdução

A inovação de materiais em combinação com a miniaturização tradicional já não irá satisfazer os requisitos de desempenho a longo prazo e radicalmente novos paradigmas de interconexão serão necessários, como por exemplo, abordagens que introduzem materiais e estruturas além do sistema convencional. Uma das alternativas é a introdução de estruturas com air gaps, promovendo redução da constante dielétrica, um dos desafios mais significativos para a fabricação de dispositivos semicondutores na próxima década.

O projeto de pesquisa visa avaliar o impacto de diferentes formas de integração, nas propriedades elétricas das interconexões e no desempenho do circuito integrado, através do estudo das estruturas conhecidas atualmente e da utilização de simulações para caracterização elétrica das linhas metálicas do CI.

### Resultados e Discussão

O projeto de pesquisa tem caráter majoritariamente teórico e seus resultados foram obtidos por meio da ferramenta de simulação COMSOL, desde a confecção das estruturas até a extração dos dados para análise dos resultados finais.

A estrutura padrão final foi confeccionada conforme Figura 1:

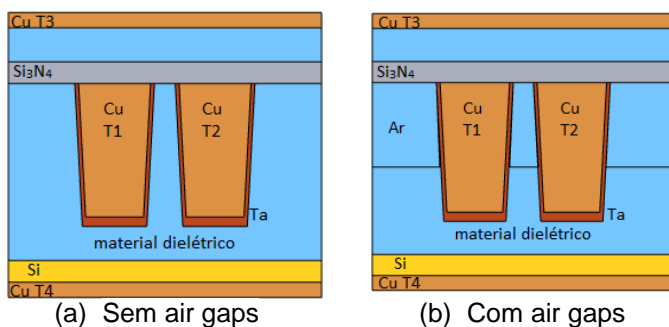


Figura 1. Estrutura padrão final para nó tecnológico 7 nm com distância de interconexão de 32nm.

Para a estrutura padrão sem air gaps foram realizadas simulações para obtenção das capacitâncias line-to-line e line-to-ground para três diferentes materiais dielétricos, SiO<sub>2</sub>, SiLK e SiCOH. A utilização destes materiais reflete a evolução dos dielétricos na tecnologia de interconexão.

Tabela 1. Capacitâncias calculadas para cada dielétrico.

Capacitâncias (nF)	SiO <sub>2</sub>	SiLK	SiCOH
Line-to-line	0,2403	0,1661	0,1754
Line-to-ground (T3)	0,1142	0,0785	0,0833
Line-to-ground (T4)	0,1084	0,0714	0,0763

A tendência dos valores encontrados era esperada, já que a utilização de um material isolante com menor constante dielétrica (low-k) apresentará menor capacitância. Para a estrutura padrão com air gaps foram realizadas simulações, utilizando SiCOH, para air gaps ocupando áreas de 25%, 50% e 75%, e foram estimadas suas constantes dielétricas equivalentes.

Tabela 2. Capacitâncias calculadas com air gaps.

Capacitâncias (nF)	25%	50%	75%
Line-to-line	0,1444	0,1194	0,0975
Line-to-ground (T3)	0,0807	0,0805	0,0805
Line-to-ground (T4)	0,0763	0,0757	0,0720
K <sub>eff</sub>	2,52	2,3	2,09
Redução (%)	-	8,73	17,06

### Conclusões

No desenvolvimento deste projeto de pesquisa foram realizadas simulações utilizando uma estrutura padrão para nó tecnológico 7 nm, com e sem air gaps, para que se analisasse o potencial elétrico, a redução das capacitâncias de interconexões para três diferentes dielétricos, e com a utilização dos air gaps de diferentes áreas. Foi comprovado que a utilização de materiais de menor constante dielétrica provoca redução nas capacitâncias, assim como a implantação dos air gaps, lembrando que deve ser levado em conta o fator mecânico do projeto.

Observou-se redução de até 17,06% da capacitância total de interconexão com a utilização de um air gap de 75% de área, fazendo com que a constante dielétrica efetiva do meio fosse reduzida de 2,8 para 2,09 apenas, sem a utilização de materiais mais frágeis.