Revisit How Delay is Determined

Capacitance in Circuit

- Capacitance is charge-to-voltage ratio
- \rightarrow Cap \uparrow : Voltage difference cannot change easily.



Representative Capacitor; Metal-Insulator-Metal (MIM)

- Why C = Q/V is normally examined in MIM structure?
- Consider the Coulomb Force and the definition of voltage!



1 • * •								-			-			-				
						· .				• . •							· · ·	· .
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• • •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	• . •	. •	
	· •	· • ·		• ` •		· •									• •	• •		
P						· .											· .	
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	. * .	•	• . •	• . •	. •	
	· •	· • ·		• ` •		· •									• •	• •		
P						· .											· .	
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	• . •	. •	
		. • :		• ` •			. • .			. • 3	• 1		. • :	• 1	• ` •	• • •		
P						· .											· .	
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	• . •	. •	
		. • :		• ` •			. • .			. • 3	• 1		. • :	• 1	• ` •	• • •		
P						· .											· .	
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• • •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	• . •	. •	
	· •			• • •		· •					•						· •	
	· · ·	· . ·				· .				• • •			• • •				· .	
			· · ·	· . ·				· · ·				· · ·	. 1.	· · ·	· · ·			
			•	• . •				•			•			•	• . •			
	· · ·	· . ·				· .				• • •			• • •				· .	
			•	• . •				•			•	• • •		•	• • •			
	· · ·	· . ·		. ' .	. ' .	· .	· . ·		. ' .	· . ·			· . ·	. '		. ' .	· .	1
		+ j +		. • 3	. • 0	× 0.	- j -			+ C +			4 C 4		. • 3	. • 2	- C -	
		. * .	· · · ·	• . •	• . •	. *		· · ·			•••	• . •	. * .	•	• . •	• . •	. *	
	· •	· • ·		• ' •													· •	
		+ j +		. • 3	. • 0	× 0.	- j -			+ C +			4 C 4		. • 3	. • 2	- C -	
			· · · ·	• . •	• . •	. *		· · ·			· · ·	• . •		• •	• . •	• . •	. *	
	· •	· • ·		• ` •		· •									• •			
	· · ·	· . ·				· .	· . ·			· . ·			· . ·				· .	1
			- e -	• • •				· • •			÷.,	· . ·		÷.,	· . ·			
	•			• •		•	• •	•		•				• `	• •	• •	•	
	· · ·	· . ·				· .	· . ·			· . ·			· . ·				· .	1
			- e -	• • •				· • •			÷.,	· . ·		÷.,	· . ·			
	•			• •		•	• •	•		•				• `	• •	• •	•	
	· · ·	· . ·				· .	· . ·			· . ·			· . ·				· .	1
											•							
		. • .	•	• . •	• . •	. •	. • .	·	• . •	. • .	· · ·		. • .	•	• . •	• . •		
	· •	· • ·		• ` •		· •									• •			
						· .											· .	
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	• . •	. •	
		. • :		• ` •			. • .			. • 3	• 1		. • :	• 1	• ` •	• • •		
· · · ·	· •	· • ·		. ' .		· •				· • ·			· • '				· •	
		+ j +		. • 3	. • 0	× 0.	- j -			+ C +			4 C 4		. • 3	. • 2	- C -	
			· · · ·	• . •	• . •	. *		· · ·			· · ·	• . •		• •	• . •	• . •	. *	
	•			• •		•	• •	•		•				• `	• •	• •	•	
	· •	· • ·				· •				· • ·			· • ·				· •	
						· .											· .	
	. •		• •	• . •	• . •	. •	. • .	• • •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	• •	• . •	• . •	. •	
		. • :		• ` •			. • .			. • 3	• 1		. • :	• 1	• ` •	• • •		
	· · ·	· . ·				· .				• • •			• • •				· .	
			· · ·	· . ·				· · ·				· · ·	. 1.	· · ·	· · ·			
							. • .	• . •	• . •	. • .	• •	• . •	. • .	۰.	• . •	• . •		
													· • '				· •	
		۰. ۱			· ' ·	· •												
		1				1				- 1 -			· . ·				· .	·
		::			: :					: - :		• (•)	:•:	· .	• (•	• : •	÷.	
												: :	1		: 1		1	
															:			
												: :			: :			
																		· · · ·

Capacitance of General Thing

• Capacitance does not only exist in an object whose have explicitly MIM structure.



Revisit of MOSFET Structure

- Capacitance exists everywhere,
- and it will affect how the voltage change over the time!



Capacitance Components in MOSFET

Hanwool Jeong hwjeong@kw.ac.kr

Possible Capacitance Formations

- Capacitance is related to "how much charge is required for create certain electric potential (=voltage difference)"
 → Voltage difference? Two different nodes!
- There are four nodes in MOSFET:



• Simply, there are six possible capacitance components

Six Possible Capacitance Components



Gate-to-Body Capacitance

• Why is it formed? Can you see MIM configuration?



Gate-to-Body Capacitance According to Operation Region

 Gate-to-body capacitance varies according to operation region of MOSFET



MOS Bias Conditions & C_{GB}



Gate-to-Source & Gate-to-Drain Capacitance

- Consists of
- 1) Fringing capacitance, $C_{GD,F}/C_{GS,F}$
- 2) Overlap capacitance, $C_{GD,O}/C_{GD,O}$
- 3) Channel capacitance (V_{gs} dependent), C_{GCD} / C_{GCS}





Gate-to-Source & Gate-to-Drain Capacitance According to Operation Mode

•
$$C_{GD,ON} = C_{GS,ON} >> C_{GD,OFF} = C_{GS,OFF}$$





 $V_{\rm GS} < V_{\rm t}$: Cut-off

 $V_{GS} > V_t$: Channel is formed

Drain-to-Body & Source-to-Body Capacitance

 Do you remember that body is biased to make S-to-B and Dto-B be reverse biased?



P-N Junction

P-type

N-type













Reverse Bias of P-N Junction

• With reverse bias, the depletion region becomes thicker



Drain-to-Body & Source-to-Body Capacitance Formation

- Depletion region between S/D and Body forms a capacitance.
- → This capacitance is often called depletion capacitance



В

S-D Capacitance?

• Can you see whether there is a capacitor between source and drain?



Six Possible Capacitance Components



Intrinsic Gate Capacitance vs. V_{GS}

• We can define **intrinsic gate** capacitance, as C_{GC}



Effect of V_{DS}?

- When V_{DS} becomes larger, how would C_{GC} be?
- How is it related to $C_0 = C_{ox}LW$?

$$C_{GC} = 2C_{GD} = 2C_{GS}$$

$$C_{GC} = C_{GS}$$



Intrinsic Gate Capacitance vs. V_{DS}



Approximation of C_{GC}

Parameter	Cutoff	Linear	Saturation
C_{gb}	$\leq C_0$	0	0
C_{gs}	0	$C_0/2$	2/3 C ₀
C_{gd}	0	$C_0/2$	0
$C_g = C_{gs} + C_{gd} + C_{gb}$	C_0	C_0	2/3 C ₀

Why Do We Need To Know Capacitance Formation Principle?

- You should be aware of effects of MOSFET parameters
- Various types of transistor exist

FinFET & SOI Transistor



Gate High K Dielectric Oxide Silicon Buried Oxide

planar

FD-SOI

finFET