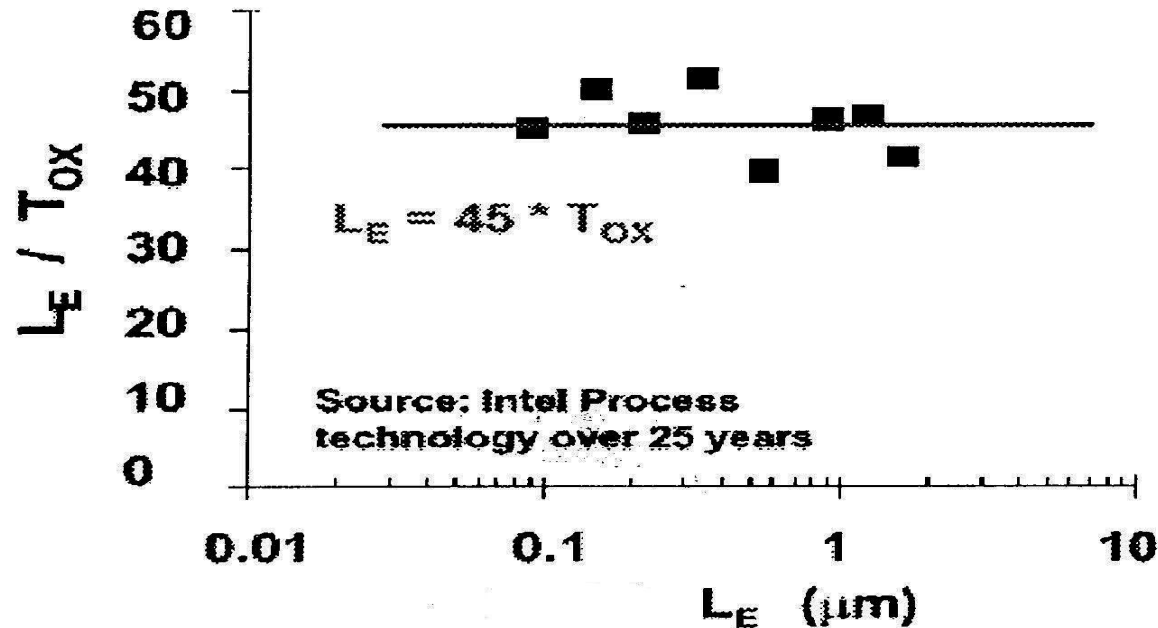


Лекция 7

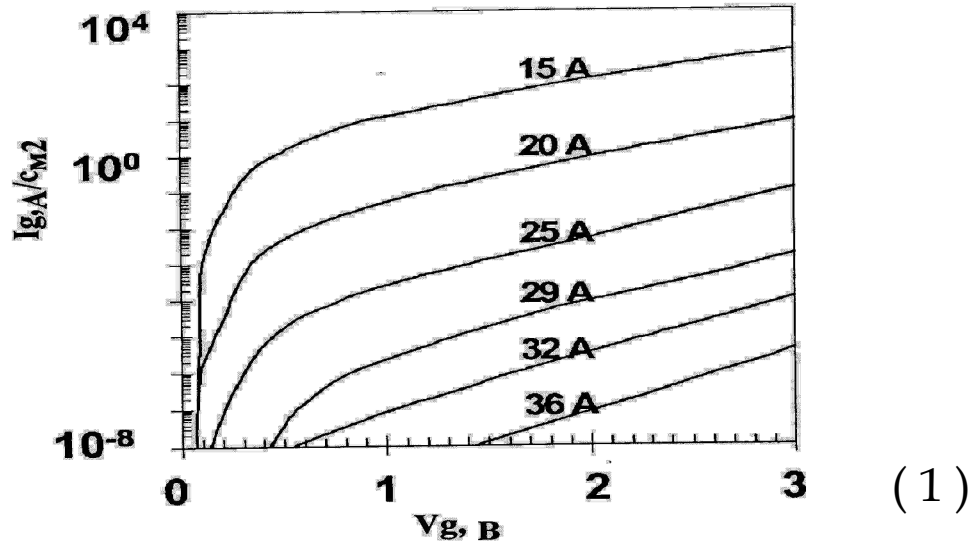
Использование high-k диэлектриков при
формировании МОПТ

Изменение толщины подзатворного окисла с уменьшением размеров элементов



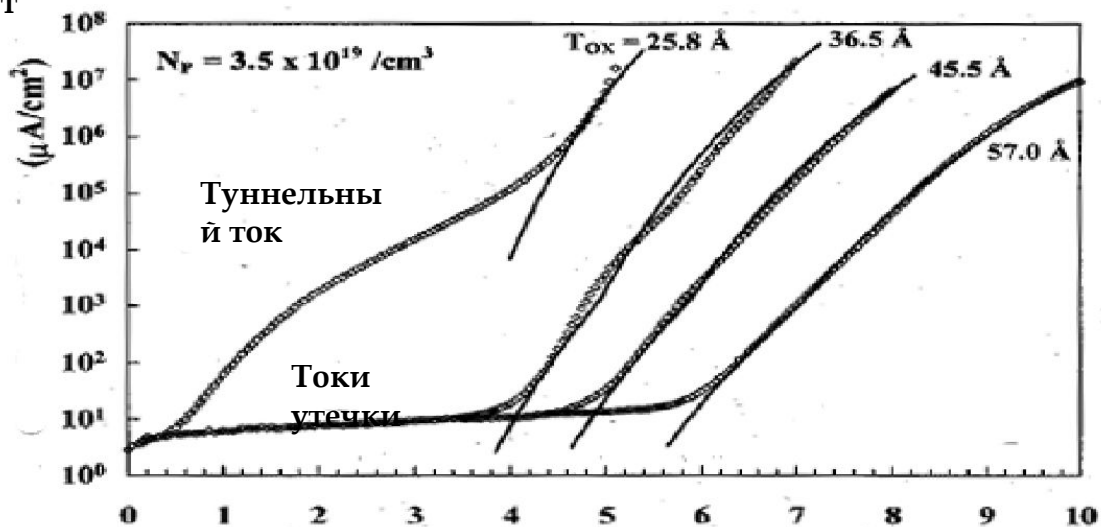
(1)

ВАХ подзатворного диелектрика



Токи через диэлектрик

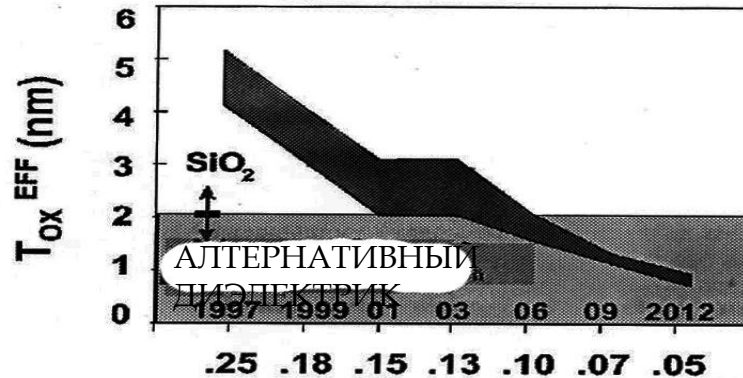
Плотность
тока



Напряжение на затворе, В

(2)

Граница применимости окисла кремния в качестве подзатворного диэлектрика



(1)

Эквивалентная толщина диэлектрика

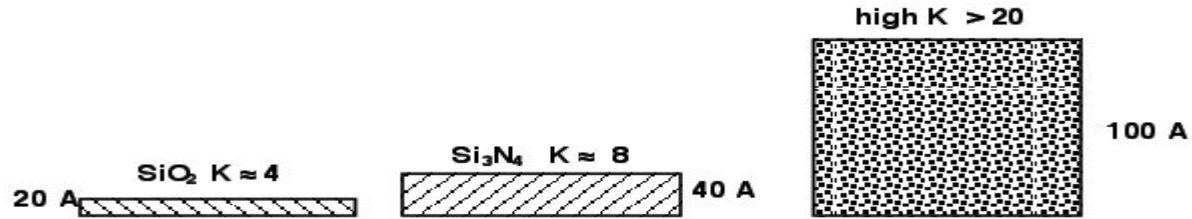
$$T_{\text{э}} = T_{\text{д}} \times \kappa_{\text{ок}} / \kappa_{\text{д}}$$

$T_{\text{э}}$ - эквивалентная толщина диэлектрика (по оксиду кремния)

$T_{\text{д}}$ - толщина high-k диэлектрика

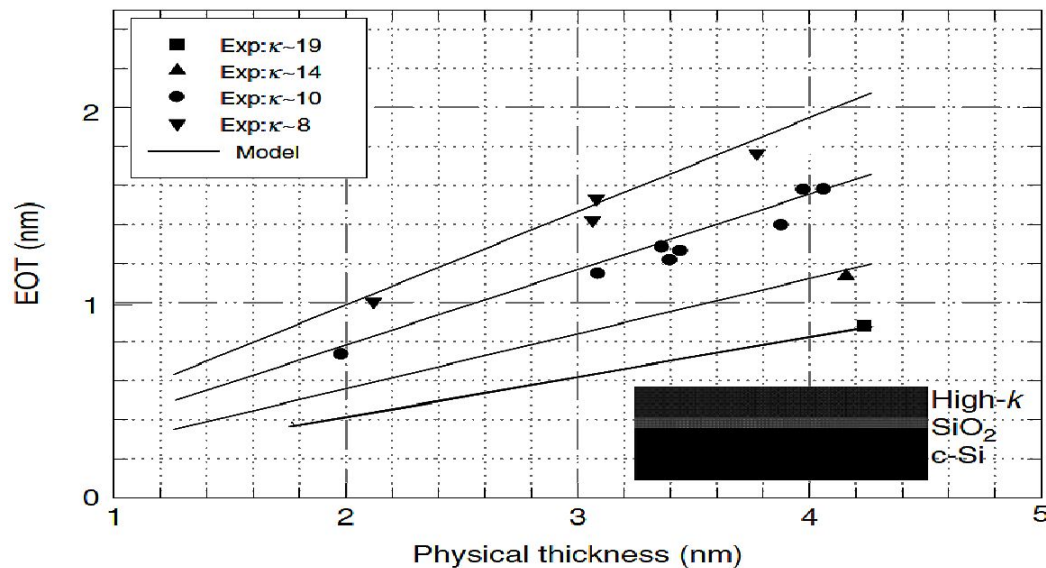
$\kappa_{\text{д}}$ и $\kappa_{\text{ок}}$ - коэффициенты диэлектрической проницаемости альтернативного диэлектрика и оксида кремния

Влияние диэлектрической проницаемости на физическую толщину диэлектрика



(3)

Влияние проницаемости high-k диэлектриков на эквивалентную и физическую толщины



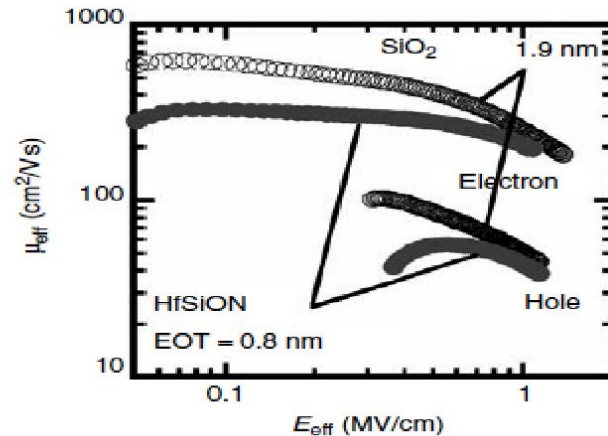
Толщина
промежуточного
оксида 1 моносой

(3)

High – k диэлектрики

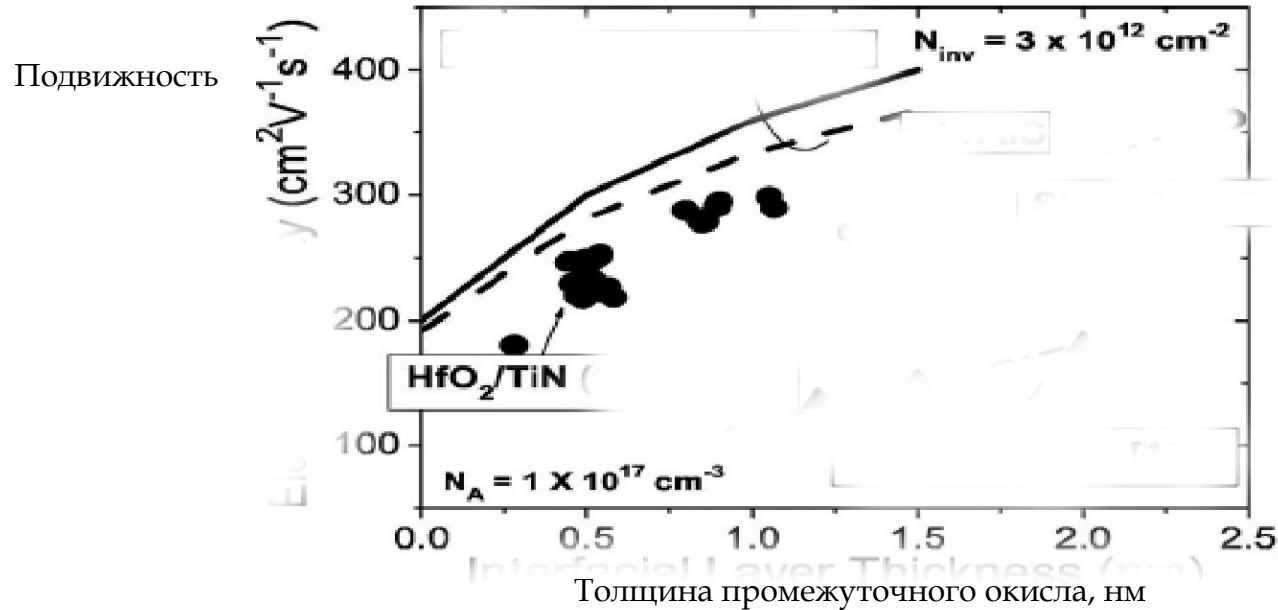
Материал	ϵ	Материал	ϵ	Материал	ϵ
Al_2O_3	8-11.5	LaAlO_3	23.8-27	TaON	
$\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_z$		LaLuO_3	32	$\text{Ta}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$	
$(\text{Ba},\text{Sr})\text{TiO}_3$	200-300	LaScO_3	22-30	TiO_2 (рутил)	86-95
BeAl_2O_4	8.3-9.43	$\text{La}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	5-16	$\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$	
CeO_2	16.6-26	MgAl_2O_4	8.3-9.4	$\text{TiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$	
CeHfO_4	10-20	Pr_2O_3	14.9	Y_2O_3	8-11.6
CoTiO_3	45-50	PrAlO_3	25	$\text{Y}_x\text{Si}_y\text{O}_z$	
DyScO_3	22	NdAlO_3	22.5	ZrO_2	22.2-28
EuAlO_3	22.5	Sc_2O_3	13	Zr-Al-O	12-18
GdScO_3	22	Si_3N_4	7	Zr silicate	11-12.6
HfO_2	26-30	SmAlO_3	19	$(\text{Zr},\text{Hf})\text{SnTiO}_4$	40-60
Hf silicate	11	SrTiO_3	150-250	$\text{Ta}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2$	
La_2O_3	18-20.8	Ta_2O_5	25-45	Y_2O_3	8-11.6

Уменьшение подвижности носителей в канале в МОПТ с high-k диэлектриками



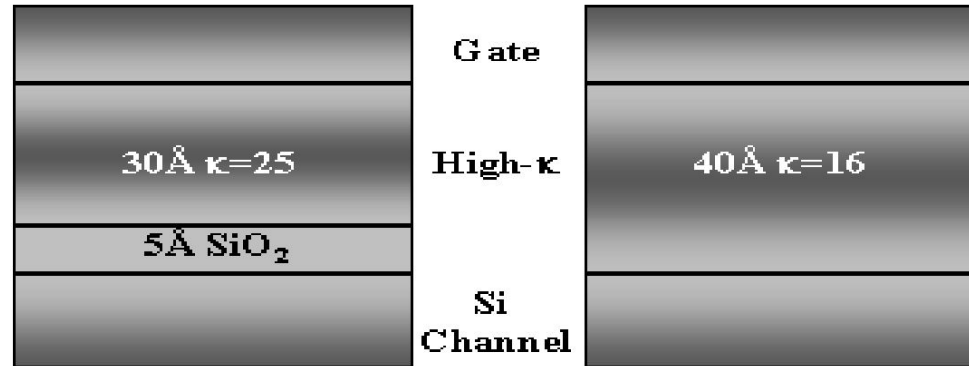
(4)

Зависимость подвижности электронов от толщины промежуточного окисла



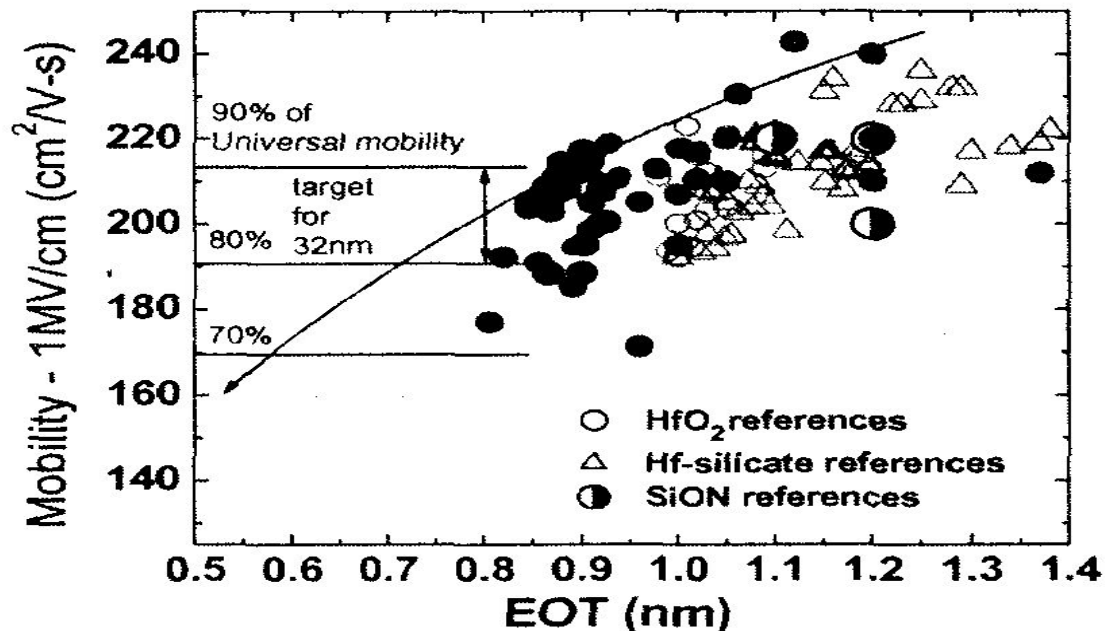
(4)

Влияние промежуточного слоя окисла на необходимые параметры high-k диэлектрика



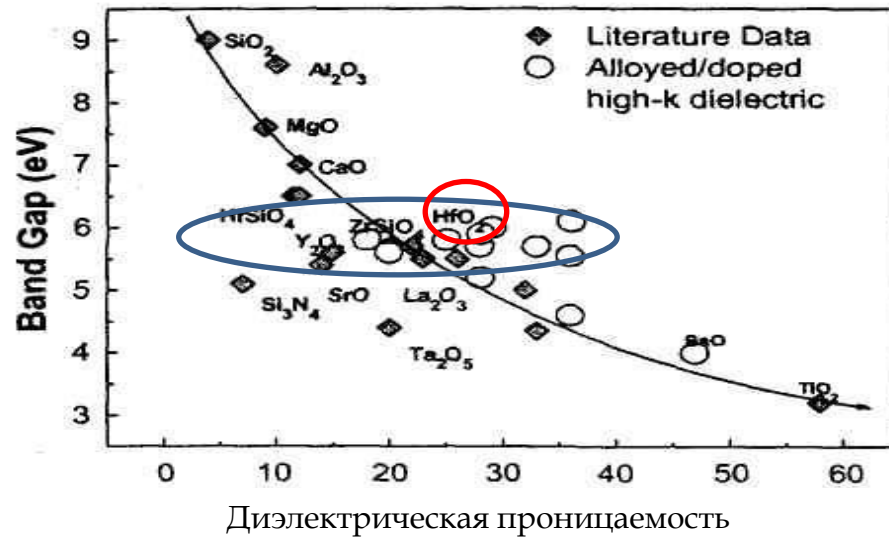
Эквивалентная толщина 1 нм (3)

Зависимость подвижности в канале МОПТ от эквивалентной толщины подзатворных диэлектриков с промежуточным окислом



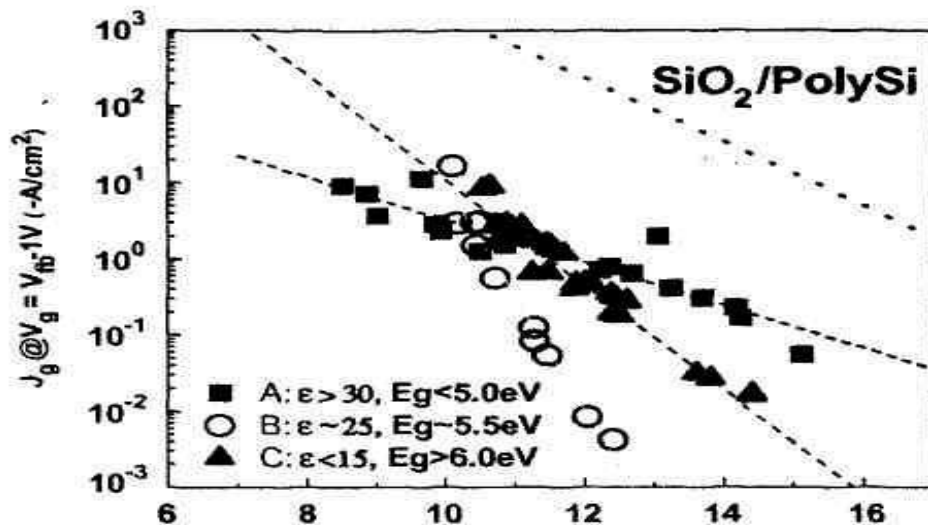
(5)

Проницаемость диэлектриков в зависимости от ширины запрещенной зоны



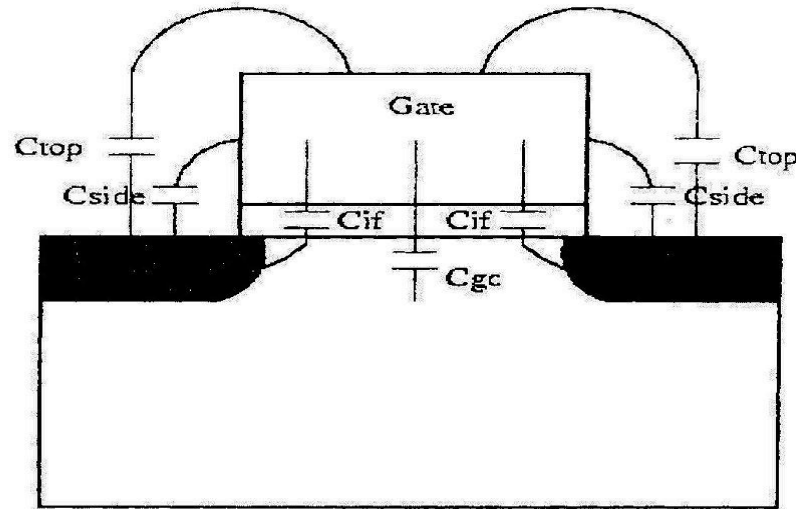
(5)

Влияние ширины запрещенной зоны и проницаемости на токи утечки для различных эквивалентных толщин



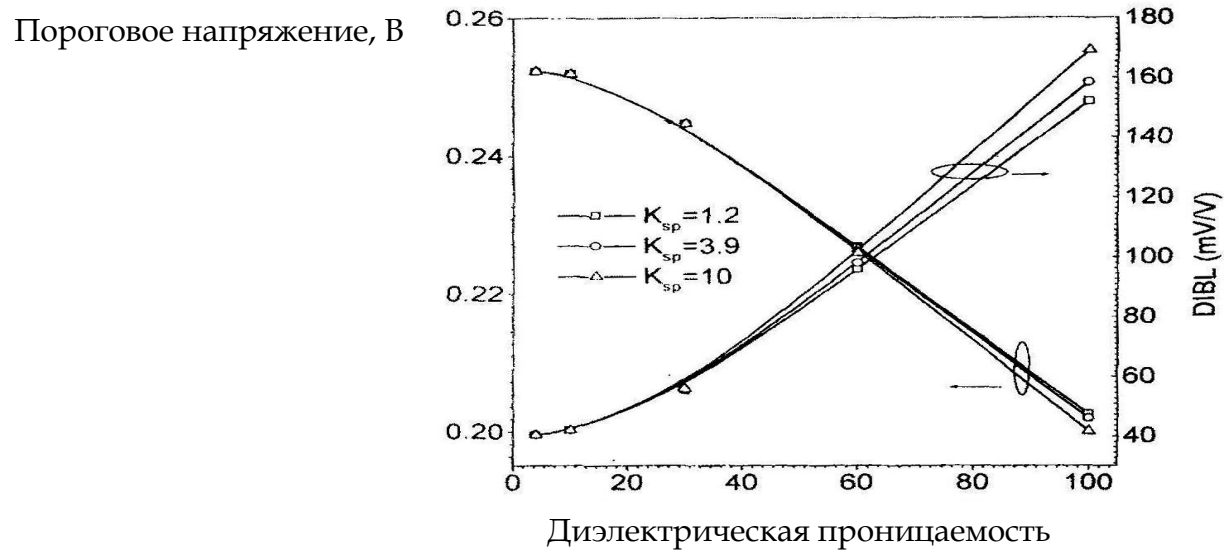
(5)

Влияние краевых эффектов на максимальную толщину high-k диэлектриков



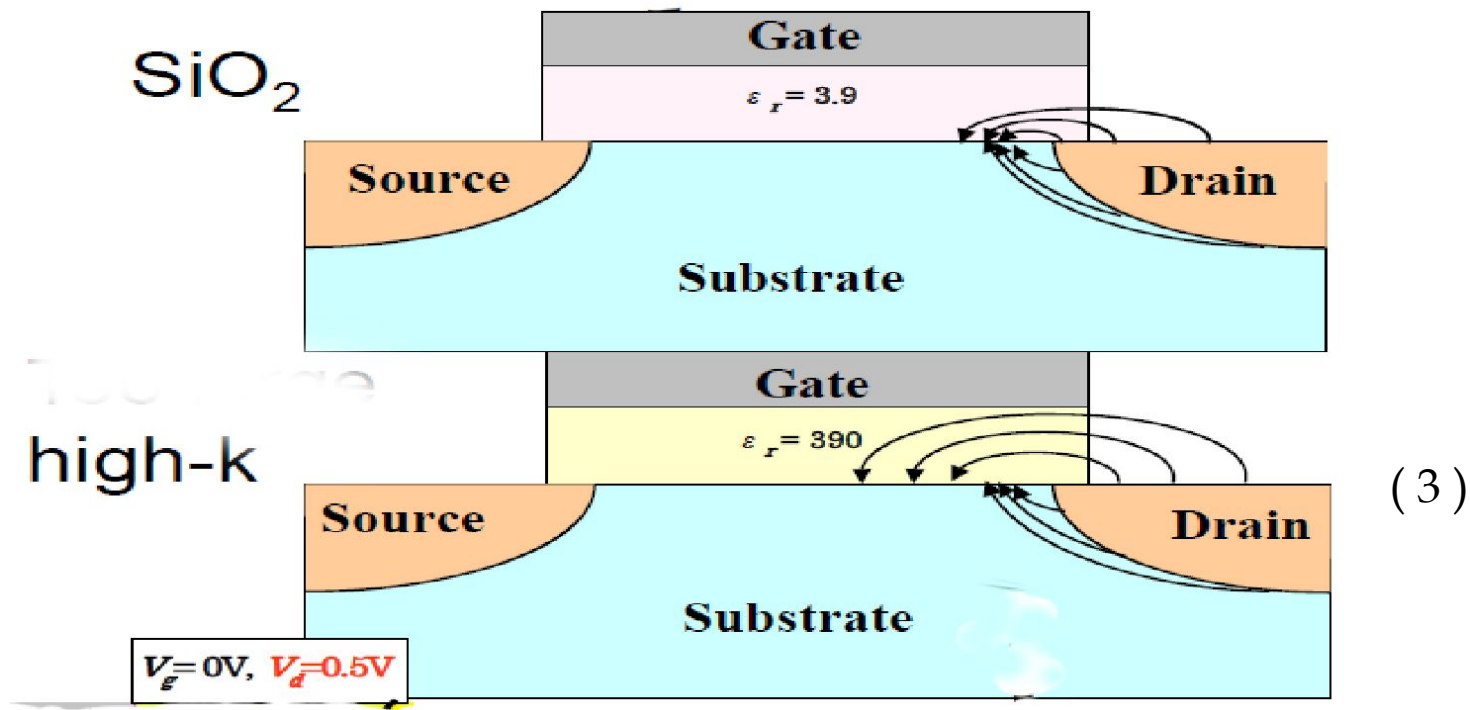
(6)

Влияние проницаемости диэлектрика на пороговое напряжение и DIBL- эффект

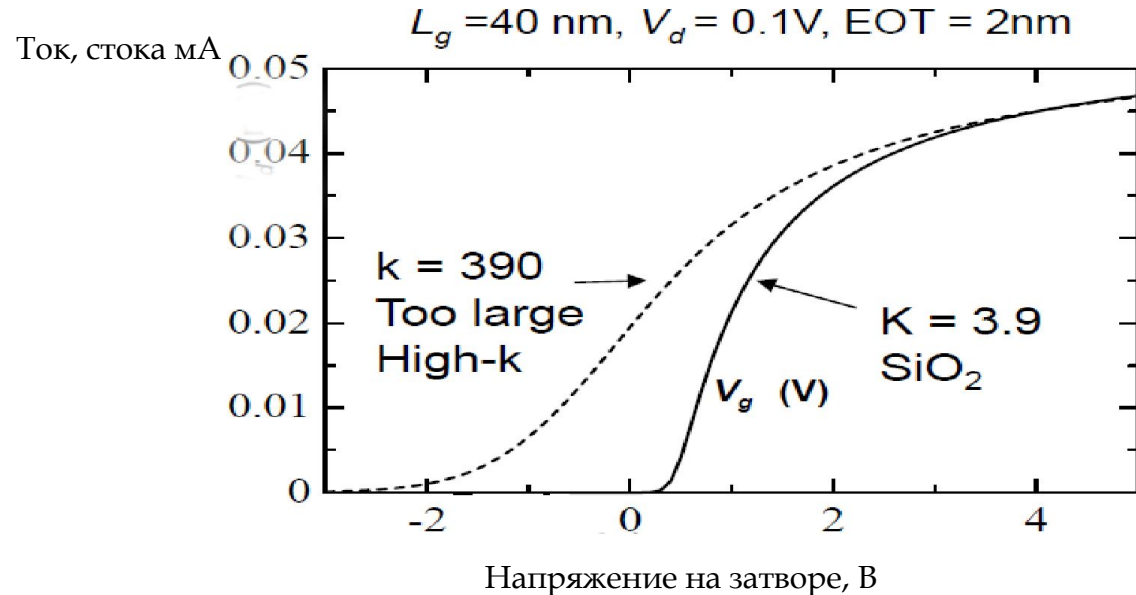


(6)

Влияние диэлектрической проницаемости на поле стока в канале МОПТ



Изменение порогового напряжения при использовании диэлектриков с различной проницаемостью

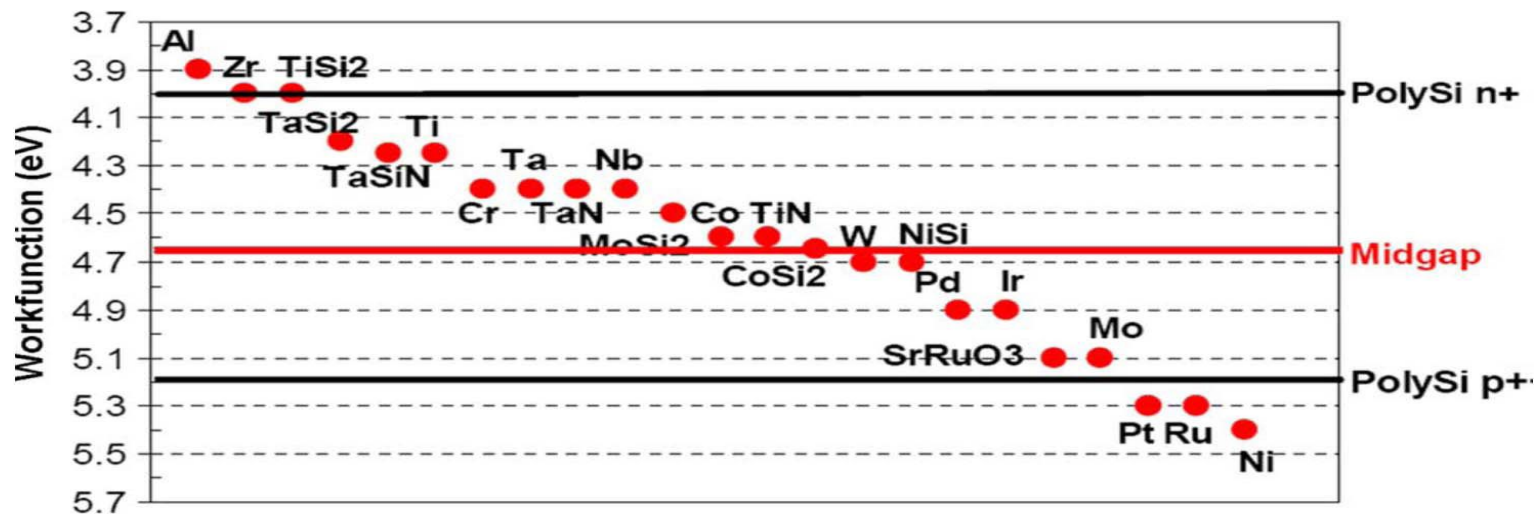


(3)

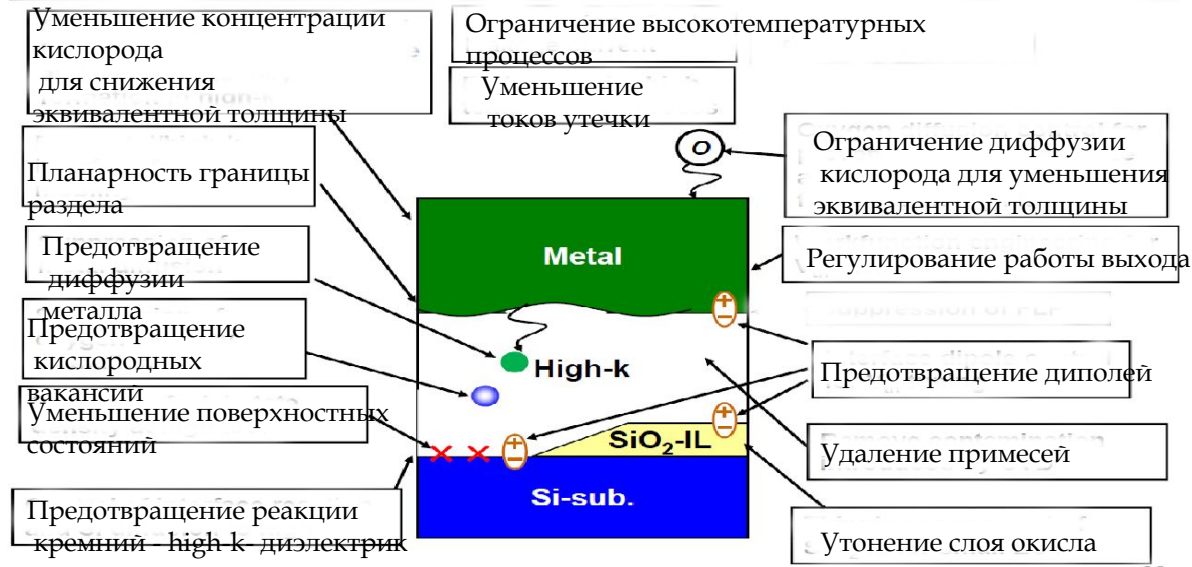
Диапазон оптимальной проницаемости диэлектрика в зависимости от толщины промежуточного оксида



Значения работы выхода для металлов

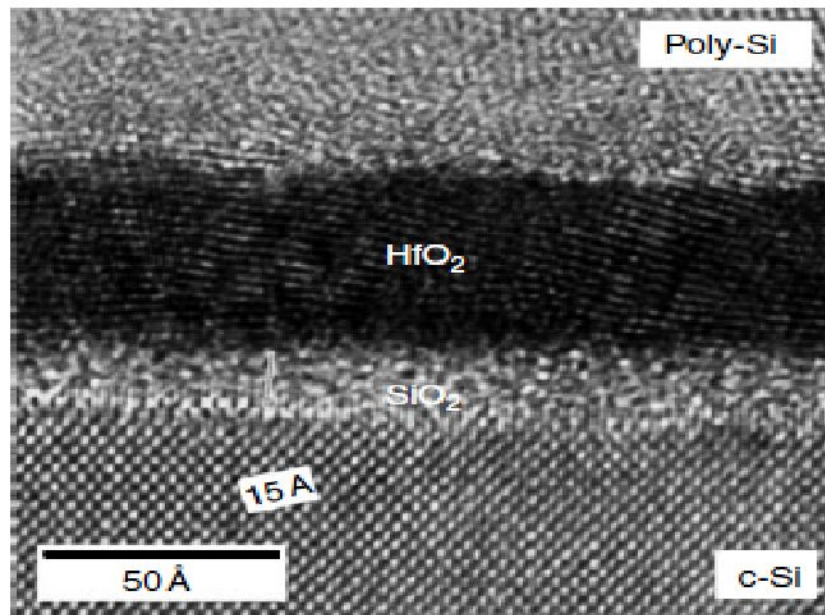


Проблемы формирования МОПТ с high-k диэлектриком и металлическим затвором



(3)

Микрофотография структуры с high - k диэлектриком



(4)



Литература

- 1. MOS Scaling: Transistor Challenges for the 21st Century. Intel Technology Journal 03\98
- 2. SILICON PROCESSING FOR THE VLSI ERA Vol. 4 – Deep-Submicron Process Technology © 2002 LATTICE PRESS
- 3. EE 311 Note/Prof. Saraswai print 2003
- 4. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов Москва: Техносила. 2011.
- 5. B.H.Lee et al. Metal Electrode/High-k Dielectric Gate-Stack Technology for Power Management. IEEE Transactions on Electron Devices vol 55 No 1 2008
- 6. N.R.Mohapatra et al. The Effect High-K Dielectrics on Deep Submicrometer CMOS Device and Circuit Performance