



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Facultad de Ciencias

GRADO EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO
**SIMULACIÓN DE
TRANSISTORES
BASADOS EN
NANOWIRE/NANOSHEET:
EFECTO TÚNEL ENTRE
FUENTE Y DRENADOR**

Presentado por:

D. Daniel Garzón Rivero

Tutores:

D. Luca Donetti y D^a. Cristina Medina Bailón

Curso académico 2022/2023



UNIVERSIDAD DE GRANADA

GRADO EN INGENIERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

SIMULACIÓN DE TRANSISTORES BASADOS EN NANOWIRE/NANOSHEET:
EFECTO TÚNEL ENTRE FUENTE Y DRENADOR

Autor: Daniel Garzón Rivero

Directores: Luca Donetti y Cristina Medina Bailón

Departamento: Electrónica y Tecnología de los Computadores

Palabras clave: Transistores, simulación MC, nanohilo, *nanosheet*, efectos de canal corto, efecto túnel, corriente de fuga, tensión umbral, *subthreshold swing*, escalado.

Resumen: Simulación y estudio de las propiedades de escalado de los transistores con longitud de canal por debajo de 10 nm. A partir de este tamaño son notables los efectos de canal corto incluso para estructuras confinadas como FinFETs o *nanosheets*, cobran mayor importancia los efectos cuánticos no deseados en el funcionamiento del transistor y se produce una pérdida del control del canal por efectos adversos. Se realiza para ello una simulación de los dispositivos por medio de un simulador Monte Carlo, cuyos resultados son utilizados en un código desarrollado en este trabajo que obtiene valores numéricos para la corriente producida por efecto túnel, mostrando que esta puede llegar a ser el 65% de la corriente total de drenador. De esta forma, se comparan dispositivos basados en *nanowire* y *nanosheets* con el fin de dar una visión general respecto a la miniaturización y se analiza cómo afectan los cambios en las dimensiones de los dispositivos y la influencia que el efecto túnel tiene en estos. Se obtienen resultados interesantes para el futuro de estos transistores como valores pequeños de tensión umbral ($V_{Th} = 0.29 V$), pero con un aumento de las corrientes de fuga ($I_{OFF} = 7.12 \cdot 10^{-9} A$) y valores de *subthreshold swing* que se alejan de la idealidad.



UNIVERSIDAD DE GRANADA

GRADO EN INGENIERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

SIMULATION OF TRANSISTORS BASED ON NANOWIRE/NANOSHEET:
TUNNEL EFFECT BETWEEN SOURCE AND DRAIN

Author: Daniel Garzón Rivero

Directors: Luca Donetti and Cristina Medina Bailón

Department: Electronics and Computer Technology.

Key words: Transistors, MC simulation, nanowire, nanosheet, short channel effects, tunneling, leakage current, threshold voltage, subthreshold swing, scaling.

Abstract: Simulation and study of the scaling properties of transistors with channel lengths below 10 nm. From this size onwards, short-channel effects are notable even for confined structures such as FinFETs or nanosheets, unwanted quantum effects become more important in the operation of the transistor and a loss of control of the channel due to adverse effects occurs. A simulation of the devices is carried out using a Monte Carlo simulator, the results of which are used in a code developed in this work that obtains numerical values for the current produced by the tunnel effect, showing that this can be up to 65% of the total drain current. In this way, devices based on nanowire and nanosheets are compared in order to give an overview of miniaturisation and to analyse how changes in the dimensions of the devices and the influence that the tunnel effect has on them affect them. Interesting results for the future of these transistors are obtained, such as small threshold voltage values ($V_{Th} = 0.29 V$), but with an increase in leakage currents ($I_{OFF} = 7.12 \cdot 10^{-9} A$) and subthreshold swing values that are far from ideal.