

# การศึกษากระบวนการสร้างและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเอ็น

## มอสขนาด 0.5 ไมครอน

### Study of Fabrication and Electrical Characteristics of NMOS

#### 0.5 Micron

รังสรรค์ เมืองเหล็ก\* อนุชา เรืองพานิช\*\*

\*ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

\*\*ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

E-mail : rangson.mu@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษากระบวนการสร้างและคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดความยาวเกต 0.5 ไมครอน ที่เป็นโพลีซิลิคอนเกตชนิดเอ็น ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ การจำลองกระบวนการสร้างเอ็นมอสโดยใช้โปรแกรม Sentaurus TCAD เพื่อคาดการณ์คุณลักษณะทางไฟฟ้า ด้วยการจำลองค่าปริมาณโดสการยิงฟุ้งประจุสำหรับบ่อแยกชนิดพี, การจำลองปริมาณ โดสการยิงฟุ้งประจุสำหรับการปรับแรงดันขีดเริ่ม และการจำลองปริมาณ โดสการยิงฟุ้งประจุสำหรับการป้องกันพันธูรั ที่เงื่อนไขต่างๆ ที่มีผลต่อแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ ขั้นตอนที่สอง นำผลจากการจำลองกระบวนการสร้างที่น่าสนใจมาเป็นเงื่อนไขที่ใช้สร้างลงบนแผ่นฐานรองซิลิคอน หลังจากทำการสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ตามเงื่อนไขที่ออกแบบ ทำการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้า ในเงื่อนไขที่บ่อแยกชนิดพี ค่าปริมาณโดส  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  ค่าปริมาณโดสการยิงฟุ้งประจุสำหรับการปรับแรงดันขีดเริ่ม  $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  และค่าปริมาณโดสการยิงฟุ้งประจุสำหรับการป้องกันพันธูรั  $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  โดยเอ็นมอสทรานซิสเตอร์จากแผ่นเงื่อนไขดังกล่าวมีค่าแรงดันขีดเริ่ม 0.70 V ที่ค่ากระแสเดรนข่านอิมตัวที่  $V_{DS}=V_{GS}=3.3 \text{ V}$  เท่ากับ  $403 \mu\text{A}/\mu\text{m}$  ขั้นตอนสุดท้าย นำแผ่นเงื่อนไขดังกล่าวไปทำการถอดแบบจำลองพารามิเตอร์ระดับ 3 สำหรับให้นักออกแบบวงจรรวมได้นำไปใช้ต่อไปซึ่งเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาด 0.5 ไมครอน ที่สร้างได้นั้นถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีการสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่เคยสร้างในประเทศไทย

คำสำคัญ : มอสเฟส, ซีมอส, สไปซ์

#### Abstract

This paper presents a study of the fabrication process and electrical characteristics of 0.5  $\mu\text{m}$  NMOS transistor, n-type Poly silicon gate. There are 3 steps for this study. The first step is fabrication simulation process to predict the electrical properties using Process simulation program, Sentaurus TCAD which is verification program consisting in several conditions of simulation. The goal of the fabrication เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

simulation process is to study the dose concentration of Ion Implantation for p-well and anti-punch through processes that affects the NMOS transistor threshold voltage. The 2<sup>nd</sup> step is to apply the interesting condition results from the fabrication simulation process for wafer substrate then proceed electrical properties testing of NMOS transistor according to the design conditions including p-well dose concentration  $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  threshold voltage adjustment dose concentration  $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  and anti-punch through dose concentration  $3.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ . As the result, the threshold voltage 0.70 V. with saturated drain current ( $V_{DS} = V_{GS} = 3.3 \text{ V}$ )  $403 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ . Finally, these conditions will be applied for extracting the parameter model, spice level 3 which is a useful application for IC designers. The succeeded fabrication of the  $0.5 \mu\text{m}$  NMOS transistor is the recent technology for the smallest NMOS available in Thailand.

**Keywords :** MOSFET, CMOS, SPICE

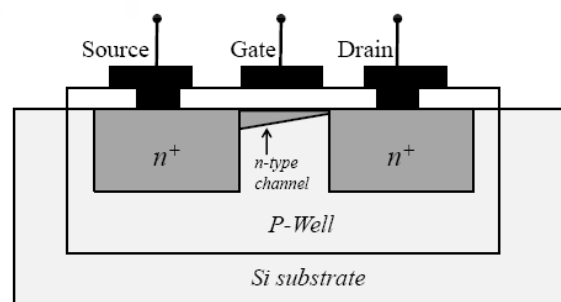
## 1. บทนำ

มอ ส เฟ ต (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET) หรือที่เรียกว่า มอ ส ท ราน ชิส เตอร์ (MOS transistor) เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำประเภทสนามไฟฟ้าที่ถูกนำไปสร้างเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ (VLSI) เพราะว่ามีคุณสมบัติโดดเด่นหลายประการ เช่น ขนาดเล็ก โครงสร้างไม่ซับซ้อนง่ายต่อการพัฒนา ใช้พลังงานต่ำประสิทธิภาพการใช้น้ำสูง และสามารถพัฒนาขนาดให้เล็กลง ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบการสร้างมอ ส ท ราน ชิส เตอร์ ขั้นตอนการสร้าง, ออกแบบขั้นตอนวิธีการสร้าง, นำเงื่อนไขและขั้นตอนวิธีการสร้างที่ออกแบบไปจำลอง เพื่อคาดการณ์คุณลักษณะทางไฟฟ้าของมอ ส ท ราน ชิส เตอร์ ต่อจากนั้นนำผลที่ได้จากการจำลองมาพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง โดยทำการสร้างเอ็นมอ ส ท ราน ชิส เตอร์และโครงสร้างทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ขึ้นบนแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ขนาด 6 นิ้ว จากนั้นนำมาทำการวัดทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า และถอดแบบจำลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่ามาตรฐานสำหรับนักออกแบบวงจรได้ใช้อ้างอิงต่อไป

## 2. การออกแบบ และ กระบวนการสร้าง

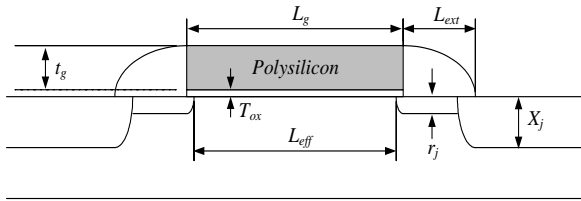
### 2.1 การออกแบบกระบวนการสร้าง

ในการจำลองและออกแบบกระบวนการสร้างเอ็นมอ ส ท ราน ชิส เตอร์ที่ขนาดความยาวเกต  $0.5 \mu\text{m}$  ไมครอน ด้วยโปรแกรม Sentaurus TCAD เพื่อศึกษาขั้นตอนกระบวนการสร้างและโครงสร้างทางจุดภาคของมอ ส ตังรูปที่ 1 โดยเฉพาะค่าแรงดันขีดเริ่ม ( $V_T$ ) ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดความกว้างต่อความยาวเกต (W/L), ค่าปริมาณโดสเกิดจากการยิงฝิ่งประจุ จากกระบวนการสร้างบ่อแยกชนิดพี (P-Well), ค่าปริมาณโดสจากการยิงฝิ่งประจุสำหรับปรับค่าแรงดันขีดเริ่ม (VTA), ค่าปริมาณโดสจากการยิงฝิ่งประจุเพื่อป้องกันการเกิดพันธันท์ทรู (APT) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะถูกปรับเปลี่ยนเพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่าแรงดันขีดเริ่ม



(ก) ภาคตัดขวางโครงสร้างเอ็นมอ ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ภาคตัดขวางโครงสร้างมอสแสดงขอบเขตทางกายภาพ

รูปที่ 1 ภาคตัดขวางโครงสร้างมอสในการจำลอง[1]

จากรูปที่ 1(ข) แสดงพารามิเตอร์ทางกายภาพของมอส [2]-[4] เช่น ความยาวเกต (Gate Length,  $L_g$ ) ความหนาชั้นออกไซด์ (Gate oxide thickness,  $T_{ox}$ ), ความลึกซอสและเดรน (S/D junction depth,  $X_j$ ) สำหรับการออกแบบเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางกายภาพจะมีความสัมพันธ์แปรตามความยาวเกตของกฎการออกแบบมอสทรานซิสเตอร์ เช่น ความหนาออกไซด์ ( $T_{ox} = 0.018L_g$ ), ความลึกของ LDD extension ( $r_j = 0.3L_g$ ), ความลึกซอสและเดรน ( $X_j = 0.6L_g$ ), Spacer width ( $L_{ext} = 0.3L_g$ ) และความยาวสุททิของเกต effect gate ( $L_{eff} = 0.6L_g$ ) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางกายภาพของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ที่ขนาดความยาวเกต 0.5 ไมครอน ดังในตารางที่ 1 การจำลองกระบวนการสร้างได้กำหนดขนาดความยาวเกตมีค่าที่ 0.3, 0.4, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 3.0 และ 20 ไมครอน [5] ตามลำดับ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ทางกายภาพ

Device Structure Parameter	Value
Gate Length, $L_g$	0.5 $\mu\text{m}$
Gate oxide thickness, $T_{ox}$	10 nm
well junction depth	2.0 $\mu\text{m}$
$N^+$ Poly silicon thickness, $t_g$	300 nm
Spacer width	150 nm
LDD junction depth	150 nm
S/D junction depth, $X_j$	300 nm

ตารางที่ 2 เงื่อนไขที่ปรับเปลี่ยนปริมาณโดส

แผ่นทดสอบ	P-WELL IMPLANT DOSE ที่พลังงานคงที่ 140 keV	VTA IMPLANT DOSE ที่พลังงานคงที่ 70 keV
D01	$6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$	No implant
D02		$1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D03		$1.9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D04		$2.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D05	$8 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$	No implant
D06		$1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D07		$1.9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D08		$2.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D09	$1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$	No implant
D10		$1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D11		$1.9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
D12		$2.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$

## 2.2 กระบวนการสร้าง

กระบวนการสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์นี้ ถูกดำเนินการที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) [6]-[8] โดยการสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ลงบนฐานรองเริ่มต้นผลึกเดี่ยวซิลิคอนชนิดพี ระบาย (100) สภาพความต้านทาน 20 Ohm-cm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเวเฟอร์ขนาด 6 นิ้ว เริ่มแรกจากการสร้างบ่อแยกชนิดพี (P-Well) ด้วยการยิงฝังประจุโบรอน ที่พลังงาน 140 keV ซึ่งในการจำลองได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณโดสที่  $6 \times 10^{11}$ ,  $8 \times 10^{11}$ , และ  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  สำหรับการยิงฝังประจุสำหรับการศึกษาการป้องกันพันธะทรู (APT) จะใช้โบรอน ปริมาณโดสที่  $0$ ,  $2 \times 10^{12}$  และ  $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  ด้วยพลังงาน 90 keV และการยิงฝังประจุสำหรับการปรับแรงดันขีดเริ่ม (VTA) จะใช้โบรอน ซึ่งในการจำลองได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณโดสมีค่าตั้งแต่  $0$ ,  $1.6 \times 10^{12}$ ,  $1.7 \times 10^{12}$ ,  $1.8 \times 10^{12}$ ,  $1.9 \times 10^{12}$  และ  $2.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

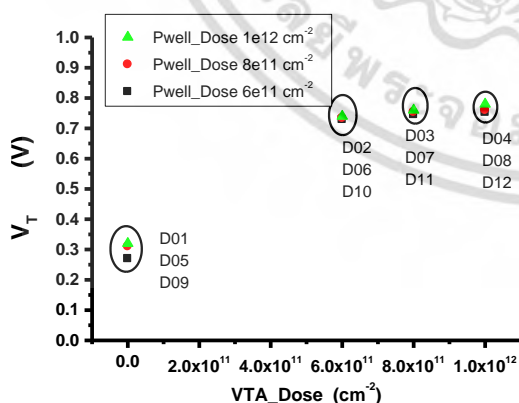
พลังงาน คงที่ 70 keV จากเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนปริมาณโดสในการสร้างจำนวน 12 เงื่อนไข ดังในตารางที่ 2

### 3. ผลการทดลอง

สำหรับการวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าเอ็นของมอสทรานซิสเตอร์ ใช้ชุดเครื่องมือวัดที่ประกอบด้วยเครื่อง Probe Station Cascade M 150, HP B1500A Precision Semiconductor Parameter Analyzer เป็นชุดเครื่องมือวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมอสทรานซิสเตอร์ โดยการควบคุมผ่านระบบคอมพิวเตอร์

โดยการทดสอบค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ ในย่านทำงานเชิงเส้น (Linear Region) ให้แรงดันคงที่ ที่ขั้วเดรน ( $V_{DS}$ ) 0.1 V ให้แรงดันขั้วเกต โดยการปรับเปลี่ยนค่าตั้งแต่ 0 ถึง 3.3 V ( $V_{GS} = 0 \rightarrow 3.3$  V, 1 V/Step) และขั้วซอสและฐานรองต่อกับกราวด์

ในการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มที่ปริมาณโดสต่างๆ (P-Well และ VTA) ที่เอ็นมอสขนาดความกว้างยาวเกต  $W/L = 20/20$  ไมครอน แสดงดัง รูปที่ 2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่ม ( $V_T$ ) กับปริมาณโดสยึ่งประจุ สำหรับปรับแรงดันขีดเริ่ม (VTA) และปริมาณโดสการยึ่งประจุบ่อแยกชนิดพี (P-Well) ที่ค่าต่าง ๆ



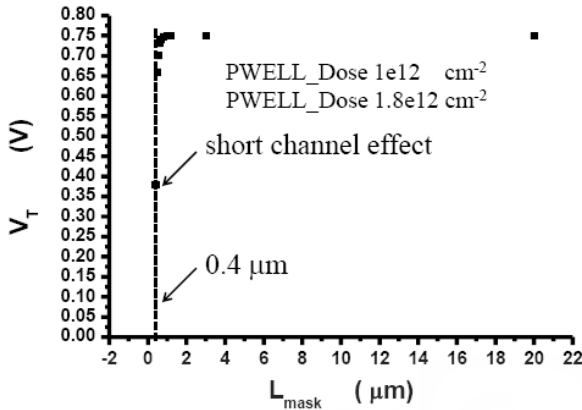
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่ม ( $V_T$ ) กับปริมาณโดสยึ่งประจุ VTA ที่อัตราส่วนของ  $W/L = 20/20$

จากรูปที่ 2 แบ่งออกได้ 2 กรณี ในกรณีแรก ไม่มีการยึ่งประจุสำหรับการปรับค่าแรงดันขีดเริ่ม (VTA) เป็นการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันขีดเริ่มกับการปรับเปลี่ยนปริมาณโดสของบ่อแยกชนิดพี (P-Well) ที่แผ่น D01, D05, D09 พบว่าการเพิ่มปริมาณโดสของบ่อแยกชนิดพี (P-Well) ทำให้ค่าแรงดันขีดเริ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากมีความหนาแน่นของพาหะโฮล (hole) เพิ่มขึ้น

ในกรณีที่สอง มีการยึ่งประจุเพื่อปรับค่าแรงดันขีดเริ่ม (VTA) การวัดค่าของแรงดันขีดเริ่มที่มีการปรับเปลี่ยนค่าปริมาณโดส VTA แผ่นที่ D02, D06, D10, D03, D07, D11, D04, D08 และ D12 มีค่าปริมาณโดส VTA มากขึ้นจะทำให้ค่าแรงดันขีดเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าของ VTA ทำให้ความหนาแน่นของพาหะโฮล (hole) ในช่องทางเดินมีค่ามากขึ้น จึงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเกตเพิ่มขึ้นในการทำให้เกิดเป็นชั้นกลับ (inversion layer)

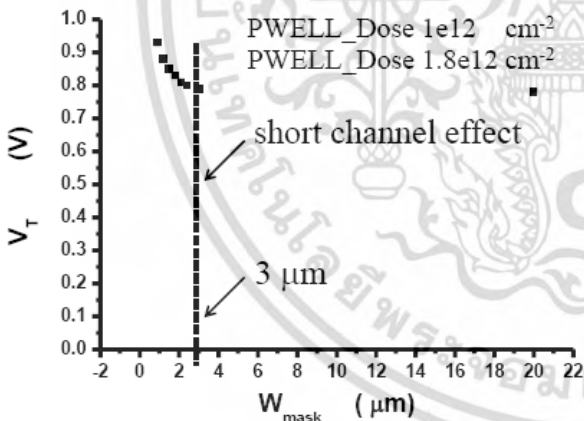
จากทั้ง 2 กรณี ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณโดสของ P-Well และ ปริมาณ โดสของ VTA พบว่าปริมาณโดสของการยึ่งประจุมีผลต่อค่าแรงดันขีดเริ่มแต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณ โดส P-Well มีผลต่อค่าแรงดันขีดเริ่มน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับปริมาณโดสของ VTA

จากการศึกษาผลการวัดค่าแรงดันขีดเริ่มกับปริมาณโดส ได้เลือกแผ่น D10 ที่ปริมาณโดส P-Well  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  และ ปริมาณโดส VTA  $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  มาเป็นกรณีศึกษาค่าของแบบจำลองพารามิเตอร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่มกับความยาวเกต ( $L_{\text{mark}}$ ) ดังรูปที่ 3 ได้ค่าแรงดันขีดเริ่มประมาณ 0.75 V ที่อัตราส่วนของ  $W/L = 20/20$  และที่ขนาดความยาวเกตน้อยกว่าหรือเท่า 0.4 ไมครอน ซึ่งเป็นค่าความยาววิกฤตที่ทำให้ค่าแรงดันขีดเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลการศึกษาเกิดปรากฏการณ์แชนแนลสั้น (short channel effect)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่ม ( $V_T$ ) กับความยาวเกต ( $L_{mask}$ )

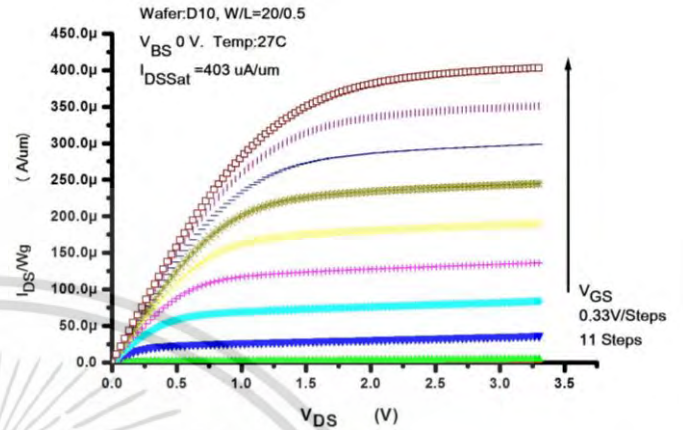
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่มกับความกว้างช่องทางเดินกระแสของแผ่นที่ทำการศึกษา แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความกว้าง ( $W_{mask}$ ) ของช่องทางเดินกระแสมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ไมครอน กล่าวได้ว่าในกระบวนการสร้างของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ 0.5 ไมครอน เกิดปรากฏการณ์ของแซนแนลแคบ (narrow channel) ที่ความกว้างของช่องทางเดินกระแสมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ไมครอน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขีดเริ่ม ( $V_T$ ) กับความกว้างของเกต ( $W_{mask}$ )

ในส่วนของการทดสอบคุณลักษณะความสัมพันธ์ทางไฟฟ้าของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ระหว่างกระแสเดรน ( $I_D$ ) กับแรงดันเดรน ( $V_{DS}$ ) โดยการให้แรงดันที่ขั้วเดรนตั้งแต่ 0 ถึง 3.3 V, ( $V_{DS} = 0 \rightarrow 3.3 \text{ V}$ , 0.33 V/step) และให้แรงดันที่ขั้วเกตตั้งแต่ 0 ถึง 3.3 V ( $V_{GS} = 0 \rightarrow 3.3 \text{ V}$ , 0.33 V/step) และขั้วซอสและฐานรอง

ต่อกับกราวด์ ผลดังรูปที่ 5 พบว่าได้ ค่าอัตราส่วนของกระแสเดรนต่อความยาวเกต อิมตัวสูงสุด ที่  $V_{GS} = V_{DS} = 3.3 \text{ V}$  ประมาณ  $403 \mu A/\mu m$



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรน ( $I_{DS}$ ) กับแรงดันเดรน ( $V_{DS}$ ) ของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ที่ค่าแรงดันเกตค่าต่าง

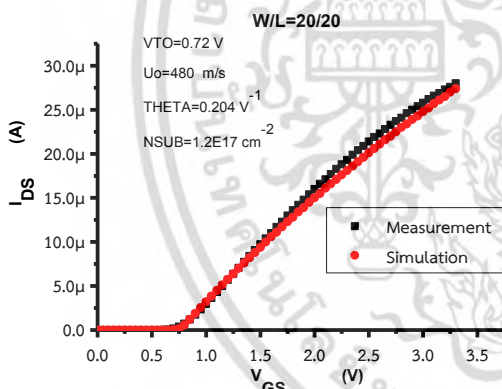
ตารางที่ 3 ค่าแบบจำลองพารามิเตอร์ SPICE ระดับ 3

พารามิเตอร์	NMOS	หน่วย
TPG	1	-
TOX	11.8	nm
LD	0.058	$\mu m$
WD	0.325	$\mu m$
UO	480.82	$cm^2/V \cdot s$
VTO	0.72	V
THETA	0.204	$V^{-1}$
RS	25.82	Ohm ( $\Omega$ )
RD	25.82	Ohm ( $\Omega$ )
DELTA	1.57	-
NSUB	$9.47 \times 10^{16}$	$cm^{-3}$
XJ	0.35	$\mu m$
NFS	$2.37 \times 10^{11}$	$cm^{-2}$
VMAX	$2.5 \times 10^2$	m/s
KAPPA	0.16	$V^{-1}$
ETA	$6.84 \times 10^{-9}$	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

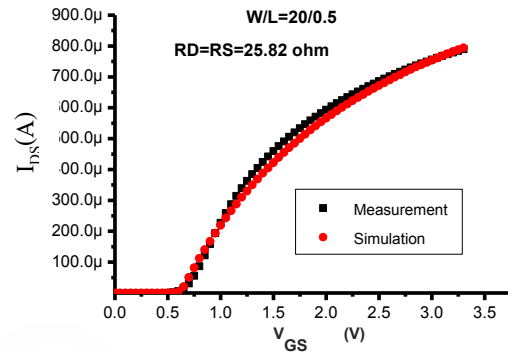
สุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าระหว่างผลการหาแบบจำลองพารามิเตอร์กับผลจากการวัดทดสอบเอ็นมอส เพื่อศึกษาถึงความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองพารามิเตอร์ SPICE ระดับ 3 ดังตารางที่ 3 ซึ่งการหาแบบจำลองพารามิเตอร์ทำได้โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ใส่ในโปรแกรม T-SPICE โดยคุณลักษณะทางไฟฟ้า จะทำการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตของเอ็นมอสขนาด  $W = 20$  ไมครอน,  $L = 20$  ไมครอน เพื่อดูผลของพารามิเตอร์ **NSUB THETA VTO** และ **UO** ที่มีต่อเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดใหญ่ ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์และผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดใหญ่ ( $W/L = 20/20$ ) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลดังรูปที่ 6



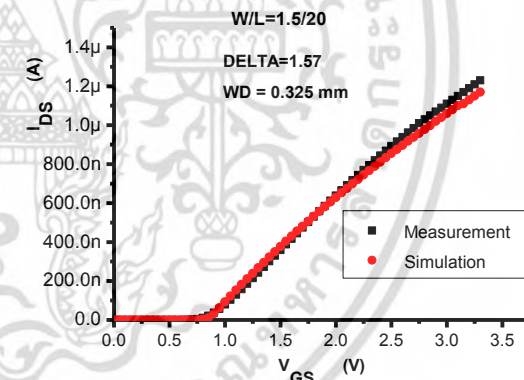
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตที่ได้จาก ผลการจำลองพารามิเตอร์กับผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดใหญ่

2. ผลของพารามิเตอร์ **RD** และ **RS** เอ็นมอสขนาด  $W = 20$  ไมครอน  $L = 0.5$  ไมครอน ผลของการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์และผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดเล็ก ( $W/L = 20/0.5$ ) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 4.7 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์กับผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดเล็ก

3. ผลของพารามิเตอร์ **WD** และ **DELTA** ที่มีต่อเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ที่มีช่องทางเดินกระแสแคบทดสอบโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตของเอ็นมอสขนาด  $W = 1.5$  ไมครอน,  $L = 20$  ไมครอน ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบได้ผลดังรูปที่ 8

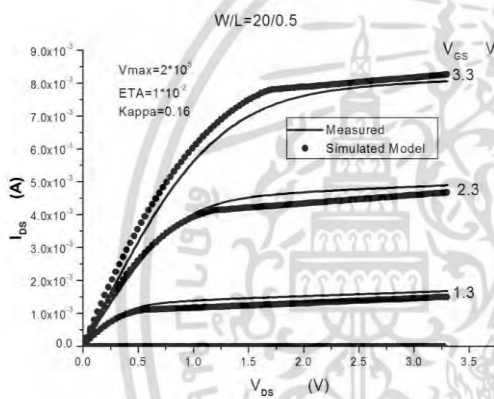


รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนและแรงดันเกตที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์กับผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดแคบ

จากผลในรูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเกตที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์และผลจากการวัดของเอ็นมอสแซนแนลแคบ ( $W/L = 1.5/20$ ) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเดรนที่มีผลของการไบอัสฐานรองของเอ็นมอสขนาด  $W = 20$  ไมครอน,  $L = 0.5$  ไมครอน โดยให้  $V_{DS} = 0 \rightarrow 3.3$  V ที่  $V_{GS} = 0, 1.3, 2.3, 3.3$  V ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงผลในรูปที่ 9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนและแรงดันเดรนที่แรงดันเกตค่าต่างๆ ที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์และผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดเล็ก พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจาก ตัวแบบจำลองของ SPICE ระดับ 3 เองที่ยังไม่ให้ความเที่ยงตรงในช่วงเชิงเส้น และ อิมิตัว เท่าได้นัก



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเดรนกับแรงดันเดรนที่แรงดันเกตค่าต่างๆ ที่ได้จากการจำลองพารามิเตอร์และผลจากการวัดของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ขนาดเล็ก

#### 4. สรุปและวิจารณ์

การสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ด้วยเทคโนโลยี 0.5 ไมครอน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ประเทศไทยสร้างได้เล็กที่สุด ในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการจำลองกระบวนการสร้าง, การออกแบบกระบวนการสร้าง, การสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์, วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและการถอดแบบจำลองพารามิเตอร์ SPICE ระดับ 3

ในการจำลองกระบวนการสร้างได้ใช้โปรแกรม Sentaurus TCAD เพื่อกำหนดค่าแรงดันขีดเริ่ม ( $V_T$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงประมาณ 0.7-0.75 V สำหรับขั้นตอนกระบวนการสร้างเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ได้ใช้แผ่นฐานรองเริ่มต้นผลึกเดี่ยวซิลิคอนชนิดพี ที่สภาพความต้านทาน 20-25  $\Omega$ -cm โดยเริ่มจากการสร้างบ่อแยกชนิดพี (P-WELL) ด้วยวิธีการยิงฝังประจุโบรอน ที่ปริมาณโดส  $6 \times 10^{11}, 8 \times 10^{11}, 1 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  สำหรับการป้องกันพันธทรู (APT) ที่ปริมาณโดส 0,  $2 \times 10^{12}, 3 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  และสุดท้ายเป็นการยิงฝังประจุสำหรับการปรับแรงดันขีดเริ่ม ที่ปริมาณโดส 0,  $1.6 \times 10^{12}, 1.7 \times 10^{12}, 1.8 \times 10^{12}, 1.9 \times 10^{12}, 2.0 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  และได้กำหนดค่าความหนาชั้นเกตออกไซด์ 10 นาโนเมตร จากการจำลองเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาทั้งหมด พบว่าเงื่อนไข บ่อแยกชนิดพีที่ปริมาณโดส  $1 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  ปริมาณโดสการยิงฝังประจุสำหรับการปรับแรงดันขีดเริ่ม (VTA) ที่ปริมาณโดส  $1.8 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  และปริมาณโดสการยิงฝังประจุของกระบวนการป้องกันพันธทรู (APT) ที่ปริมาณโดส  $3 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  ได้ผลค่าแรงดันขีดเริ่มของเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ 0.70 V โดยเอ็นมอสทรานซิสเตอร์มีกระแสเดรนย่านอิมิตัว 403  $\mu\text{A}/\mu\text{m}$  ที่  $V_{DS} = V_{GS} = 3.3$  V และสุดท้าย การถอดแบบจำลองพารามิเตอร์ SPICE ระดับ 3 ที่สามารถคำนวณด้วยมือ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ในอนาคตแบบจำลองนั้นต้องใช้เป็นแบบจำลองของ BSIM3 ซึ่งตอบสนองความแม่นยำและความถูกต้องมากกว่า

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Ruangphanit and R. Muanghlua, "Simulated Studied of 0.5 Micron NMOS n-Type Poly silicon gate length" The 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology, pp. 217-220, May, 2016.
- [2] SIA, The National Technology Roadmap For Semiconductor. San Jose, CA, 1994.
- [3] S. T. Ma, J. R. Brews, "Comparison of Deep-Submicrometer Conventional and Retrograde n-MOSFET's," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 47, No.8, August, 2000, pp. 1573-1579, Aug, 2000.

- [4] I. De and C. M. Osburn, "Impact of Super-Steep-Regtrograde Channel Doping Profiles on the Performance of Scaled Devices," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 46, No. 8, pp. 1711-1717, August, 1999.
- [5] N. Phongphanthra, A. Ruangphanit, N. Klunngien, W. Yamwong, S. Niemcharoen and S. Khunkhao, "Twin-Well 0.8 micron CMOS Technology Design and Simulatin Process for Fabrication," Proceeding of Smart/Intelligent Materials and Nano Technology, pp. 288, April, 2008.
- [6] P. Meesapawong, A. Ruangphanit, N. Phongphanthra and A. Poyai, "Devices Design, Fabrication and Characterizations of Submicron MOSFET for 0.8 CMOS Technology Development," Laos Journal on Applied Science, Vol. 1, No. 1, pp. 488-491, 2006.
- [7] N. Phongphanthra, A. Ruangphanit, N. Klunngien, W. Yamwong and S. Niemcahroen. "Development of 0.8 Micron CMOS Technology Process for Fabrication," Proceeding of the 2nd international Conference on Functional Materials & Devices, pp. A154, June, 2008.
- [8] A. Ruangphanit, N. Phongphanthra, P. Meesapawong, C. Hruanan, S. Niemcharoen and R. Muanghlua, "Device Design, Fabrication and Characterizations of 0.8  $\mu\text{m}$  CMOS Technology," Proceeding of the International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, pp. 137-140, May, 2007.