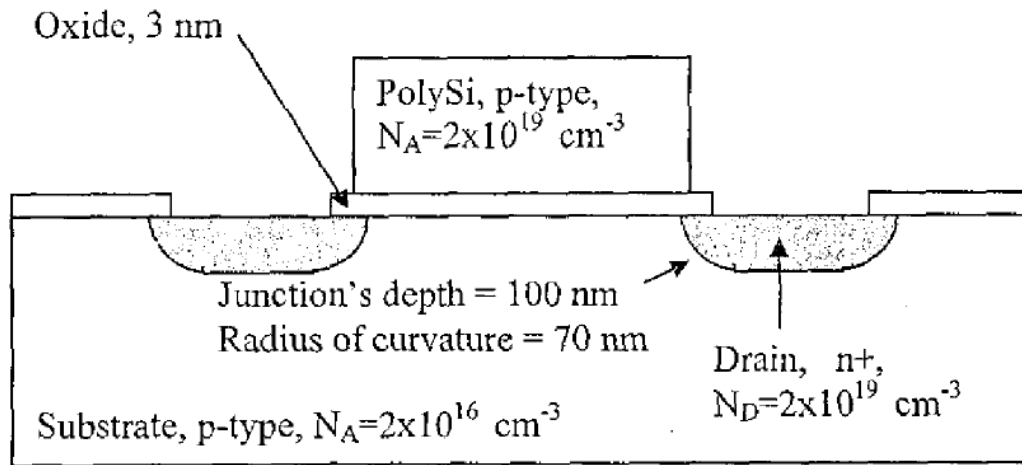


## תרגול חזרה

### טרנזיסטור nMOS

נתון טרנזיסטור MOS בעל הפרמטרים הבאים :



אורך התעלה הוא  $L$ . נתון כי הריכוז האינטרינזי של סיליקון הוא  $n_i = 10^{10} [\text{cm}^{-3}]$ , המקדם הדיאלקטרי היחסי של סיליקון הוא 11.8 והמקדם הדיאלקטרי היחסי של תחמוצת הסיליקון הוא 3.9. ניתן להניח כי מתח פסים ישרים שווה לאפס.

1. מהו מתח הסף?
2. נתונים שני מקרים;  $L = 10 \mu\text{m}$ ,  $L = 0.5 \mu\text{m}$ ;
  - a. מהו מתח הפריצה הנובעת מ- Punch through עבור כל אחד מהמקרים?
  - b. מה ניתן להסיק מכך לגבי מנגנון פריצה זה?
3. במקרה של פריצה הנובעת מ- Punch through, מהי השפעת מתח השער ומתח ה-drain-source הזרם בתעלה?
4. יש לשרטט בצורה איכותית את דיאגרמת פסים האנרגיה בחתך source-מלמ-drain במקרים הבאים:
  - a.  $V_{DS} = 0$ , ומתח השער הולך וגדל
  - b.  $V_G - V_T < V_{DS}$ ,  $V_{DS}$  הולך וגדל. יש לענות על סעיף זה עבור תעלה ארוכה ועבור תעלה קצרה.
5. כיצד מתח הפריצה תלוי במתח השער? יש להסביר בצורה איכותית.

### פתרון

1. חישוב מתח הסף:

$$V_T = V_{FB} + 2\psi_B - \frac{Q_{dep}}{C_{ox}}$$

$$\psi_B = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right) = 0.026 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 10^{16}}{10^{10}}\right) = 0.38V$$

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{ox}}{d_{ox}} = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ F/cm}^2$$

$$Q_{dep} = \sqrt{2\epsilon_0 \epsilon_s q N_A 2\psi_B} = 7.1 \cdot 10^{-8} \text{ F/cm}^2$$

$$V_T = 2 \cdot 0.38 + \frac{7.1 \cdot 10^{-8}}{1.5 \cdot 10^{-6}} = 0.8V$$

- 2.

a. מתח הפריצה הנובע מ-punch-through :

$$V_{pt} \approx \frac{qN_A(L - y_S)^2}{2\epsilon_S} - \psi_{bi}$$

(הרצאה 7 נוסחה 13)

$$y_S \approx \sqrt{\frac{2\epsilon_S}{qN_A}(\psi_{bi} - 2\psi_B - V_{BS})}$$

(הרצאה 7 נוסחה 10)

$$\psi_{bi} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i}\right) = 0.026 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 10^{16} \cdot 2 \cdot 10^{19}}{10^{10}}\right) = 0.93V$$

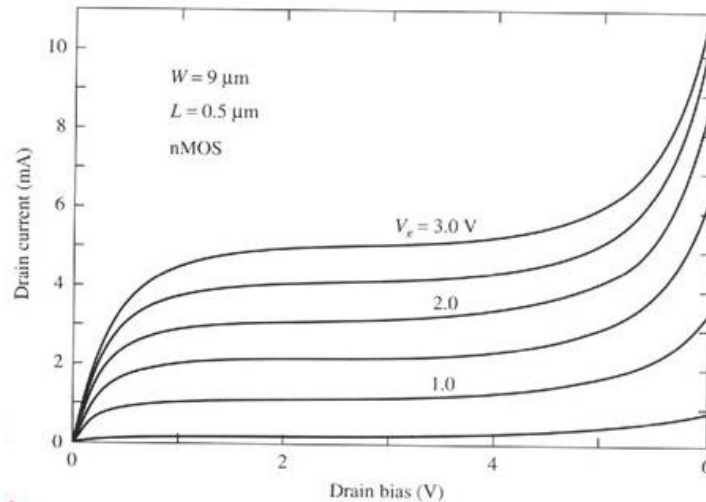
$$y_S \approx 1.08 \cdot 10^{-5} [cm]$$

$$V_{pt}^{L=10\mu m} = 3 \cdot 10^3 V$$

$$V_{pt}^{L=0.5\mu m} = 3.7 V$$

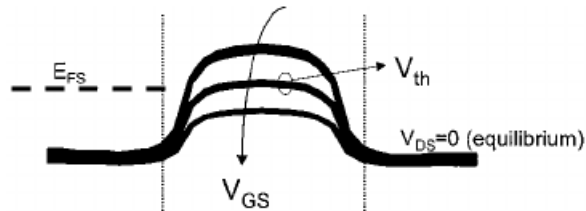
b. ניתן לראות כי תופעת punch-through נהיית רלוונטית ויש לקחת אותה בחשבון ככל שהטרנזיסטור קטן יותר.

3. במקרה של punch-through, אין באפשרות השער "לסגור" את הטרנזיסטור. הזרם בתעלה פרופורציונאלי למתח ה-drain מהצורה  $I_D \propto V_D^2$  (הרצאה 7 נוסחה 14).



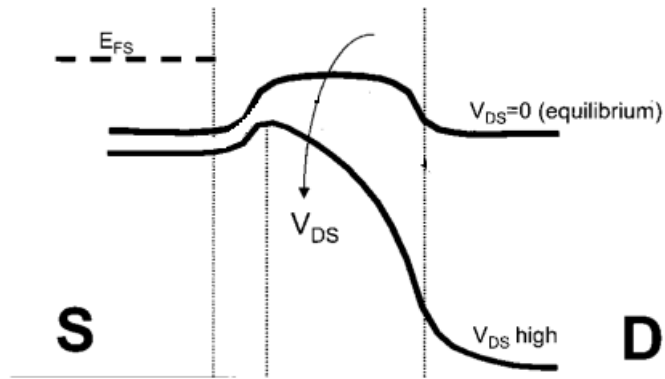
4.

a. השפעת מתח השער :



עליה במתח השער מנמיכה את מחסום הפוטנציאל לתנועת נ"מ בתעלה

b. השפעת  $V_{DS}$  :



עם העלייה ב- $V_{DS}$ , גובה מחסום הפוטנציאל לנ"מ הולך וקטן. התופעה משמעותית בטרנזיסטורים בעלי תעלה קצרה, וידועה בשמה Drain Induced Barrier Lowering – DIBL.

5. עם העלייה במתח השער, מתח הפריצה קטן. בצורה איכותית, ניתן לראות זאת מדיאגרמות הפסים שהתקבלו בסעיף הקודם – מתח שער גבוה יותר גורם לירידה במחסום הפוטנציאל בין drain ל source, ועם הירידה במחסום פוטנציאל זה תופעת ה-DIBL מתקבלת במתחים נמוכים יותר.