

## 4<sup>ο</sup> ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

**Εργασία 1** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία μιας CMOS πύλης NAND.

**Εργασία 2** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία μιας CMOS πύλης NOR.

**Εργασία 3** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία μιας CMOS πύλης AND.

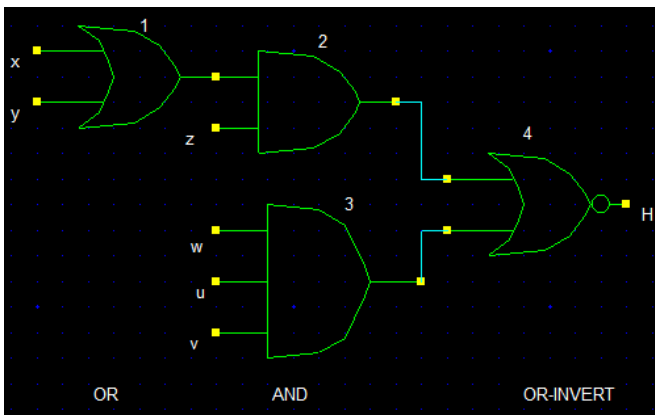
**Εργασία 4** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία μιας CMOS πύλης OR.

**Εργασία 5** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία της CMOS πύλης  $F=(AB+C)'$ .

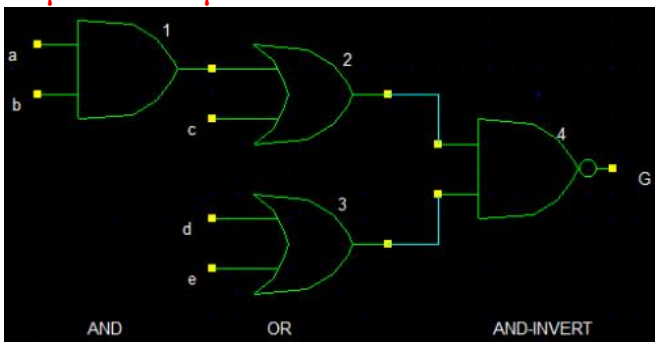
**Εργασία 6** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία της CMOS πύλης  $[A(B+C)]'$ .

**Εργασία 7** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία της CMOS πύλης  $F=[A(B+C)+DE]'$ .

**Εργασία 8** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία της CMOS πύλης που υλοποιεί το επόμενο κύκλωμα:



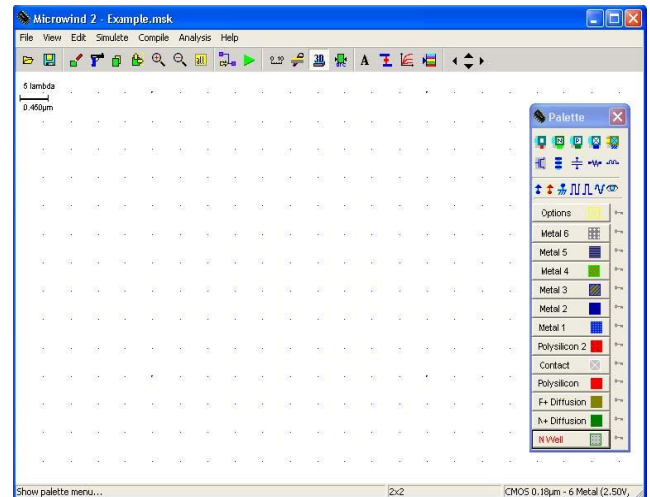
**Εργασία 9** - Περιγράψτε τη δομή και τη λειτουργία της CMOS πύλης που υλοποιεί το επόμενο κύκλωμα:



## Εργασία 10 - Εισαγωγή στο MICROWIND

### 1. Εισαγωγή στο MICROWIND. Βασικές επιλογές και λειτουργίες.

Θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο λογισμικού MICROWIND για να μιλήσουμε για τις έννοιες του φυσικού σχεδιασμού διατάξεων και κυκλωμάτων.



**Εικόνα.** Η κεντρική επιφάνεια εργασίας του MICROWIND.

Στη γραμμή μενού, υπάρχουν όλες οι επιλογές από όπου μπορούν να ξεκινήσουν όλες οι διαδικασίες του εργαλείου.

Στη δεύτερη γραμμή (toolbar) υπάρχει μία σειρά από εργαλεία τα οποία ενεργοποιούνται με το πάτημα του δεξιού πλήκτρου του ποντικιού.

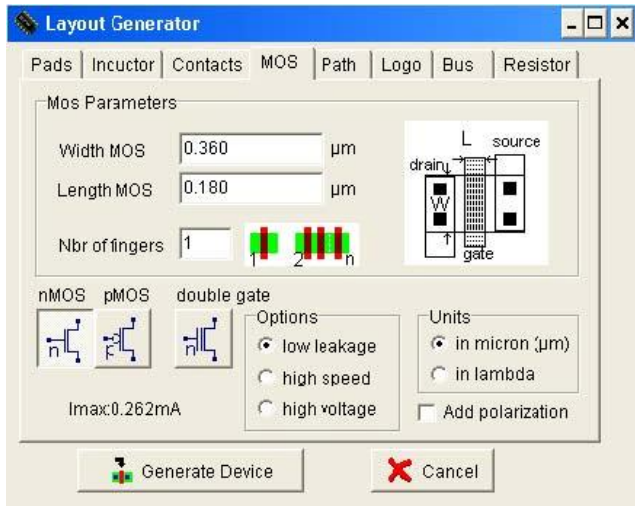
Τέλος στη δεξιά πλευρά της επιφάνειας εργασίας υπάρχει μία παλέτα εργαλείων η οποία περιέχει:

- τα διάφορα στρώματα - επίπεδα του φυσικού σχεδιασμού για την κάθε τεχνολογία,
- μία σειρά από επαφές και διατάξεις (devices) που παράγονται αυτόματα καθώς και
- τα βασικά ηλεκτρικά στοιχεία (τάση τροφοδοσίας, γείωση και γεννήτριες παλμών) που απαιτούνται για την προσομοίωση του κυκλώματος.

**2. Σχεδίαση ενός N-MOS transistor με  $W=0.36$  και  $L=0.18$  στην τεχνολογία CMOS 0.18μm με χρήση της γεννήτριας στοιχείων (device generator).**

Από το menu **File** → **select foundry** επιλέξτε το αρχείο της τεχνολογίας **0.18μm cmos018.rul**.

Επιλέξτε από την παλέτα εργαλείων το σύμβολο του τρανζίστορ. Στη φόρμα που εμφανίζεται συμπληρώστε τα στοιχεία για το W και το L του nmos.



**Εικόνα. Layout generator.**

Πατώντας το **Generate Device** και κάνοντας κλικ με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού σε ένα σημείο της επιφάνειας εργασίας εμφανίζεται ένα τρανζίστορ σύμφωνα με τις διαστάσεις που έχουν επιλεγεί.

Στην επιφάνεια εργασίας του MICROWIND, το πλέγμα είναι σε μονάδες λάμδα και όχι σε μικρόμετρα. Αυτό μας βοηθά στο να μπορούμε να προσομοιώσουμε την ίδια χωροθεσία σε οποιαδήποτε τεχνολογία CMOS. Η τιμή του λάμδα είναι το μισό του ελάχιστου μήκους πύλης από polysilicon.

Αρχείο τεχνολογίας	Ελάχιστο μήκος πύλης	Τιμή λάμδα
Cmos12.rul	1.2 μm	0.6 μm
Cmos08.rul	0.7 μm	0.35 μm
Cmos06.rul	0.5 μm	0.25 μm
Cmos035.rul	0.4 μm	0.2 μm
Cmos025.rul	0.25 μm	0.125 μm
Cmos018.rul	0.2 μm	0.1 μm
Cmos012.rul	0.12 μm	0.06 μm
Cmos90n.rul	0.1 μm	0.05 μm
Cmos65n.rul	0.07 μm	0.035 μm
Cmos45n.rul	0.05 μm	0.025 μm

**Πίνακας. Αντιστοιχία μεταξύ λάμδα μονάδων και μm.**

**Πίνακας. Evolution of key parameters with the technology scale down [ITRS]**

Λιθογραφία (μm)	Έτος	Επίπεδα μετάλλου	Τάση παροχής (V)
1.2	1986	2	5
0.7	1988	2	5
0.5	1992	3	3.3
0.35	1994	5	3.3
0.25	1996	6	2.5
0.18	1998	6	1.8
0.12	2001	6-8	1.2
0.09	2003	6-10	1.0
0.065	2005	6-12	0,8


Λιθογραφία (μm)	Πάχος οξειδίου πύλης (nm)	Μέγεθος τσιπ (mm)	Ακροδέκτες εισόδου/εξόδου
1.2	25	5x5	250
0.7	20	7x7	350
0.5	12	10x10	600
0.35	7	15x15	800
0.25	5	17x17	1000
0.18	3	20x20	1500
0.12	2	22x20	1800
0.09	1.8	25x20	2000
0.065	1.6	25x20	3000

Λιθογραφία (μm)	Όνομα αρχείου στο Microwind
1.2	Cmos12.rul
0.7	Cmos08.rul
0.5	Cmos06.rul
0.35	Cmos035.rul
0.25	Cmos025.rul
0.18	Cmos018.rul
0.12	Cmos012.rul
0.09	Cmos90n.rul
0.065	Cmos65n.rul

**3. Σχεδίαση ενός P-MOS transistor με W=0.36 και L=0.18 στην ίδια τεχνολογία με το χέρι (manually).**

- Δημιουργία της περιοχής πολυκρυσταλλικού πυριτίου (polysilicon).

Επιλέξτε το επίπεδο του πολυκρυσταλλικού πυριτίου πατώντας το αντίστοιχο κουμπί πάνω στην παλέτα εργαλείων.

Στη συνέχεια επιλέγοντας με το mouse το εικονίδιο , από την μπάρα εργαλείων (toolbar) σχεδιάστε μία λωρίδα πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Το εύρος της λωρίδας δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 2λ, που είναι το ελάχιστο επιτρεπτό εύρος του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Το μήκος της λωρίδας να είναι τουλάχιστον 16λ.

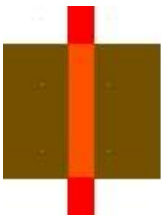
- Δημιουργία της περιοχής διάχυσης (diffusion).

Το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση της διάχυσης.

Αλλάξτε το επίπεδο σχεδιασμού σε διάχυση τύπου p (P+ diffusion, από την παλέτα του Microwind) και σχεδιάστε μία ορθογώνια περιοχή η οποία να τέμνει το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.

Η τομή μεταξύ αυτής της περιοχής και της λωρίδας πολυκρυσταλλικού πυριτίου δημιουργεί το κανάλι ενός PMOS στοιχείου.

Το πλάτος της διάχυσης πρέπει να είναι 12λ.

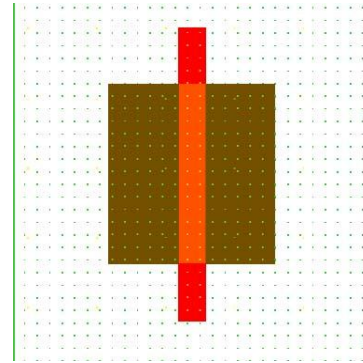


Εικόνα. Λωρίδα polysilicon και διάχυσης p+.

- Δημιουργία του “πηγαδιού” τύπου-n (n-well).


Για να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του PMOS στοιχείου, αλλάξτε το επίπεδο σχεδιασμού σε n-well από την παλέτα και σχεδιάστε μια ορθογώνια περιοχή γύρω από τη λωρίδα διάχυσης p-τύπου, που αποτελεί το “πηγάδι” μέσα στο οποίο αναπτύσσεται το PMOS στοιχείο.

Η περιοχή του n-well πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον 6λ γύρω από την περιοχή της διάχυσης.



Εικόνα. Λωρίδα polysilicon, διάχυσης p+ και πηγαδιού n, ολοκληρώνουν την τοπολογία ενός pmos.


#### 4. Έλεγχος των σχεδιαστικών λαθών.

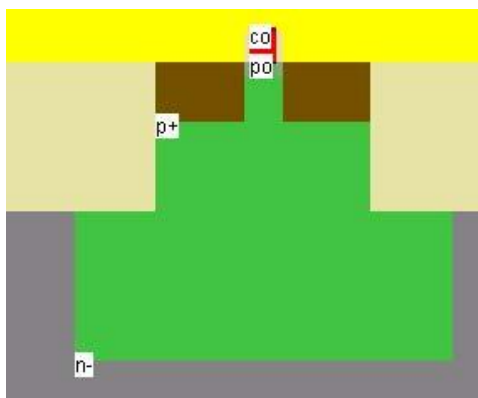
Για να βεβαιωθείτε ότι δεν παραβιάζετε τους κανόνες σχεδιασμού μπορείτε σε όποια φάση της σχεδίασης θέλετε να επιλέξετε το εικονίδιο  που βρίσκεται στην μπάρα με τα εργαλεία του Microwind.

Τότε το πρόγραμμα ελέγχει το κύκλωμα σας για τυχόν λάθη στη σχεδίαση σε σχέση με τους κανόνες σχεδιασμού που έχετε αρχικά επιλέξει και ο ελεγκτής των κανόνων σχεδιασμού (design rule checker) του εργαλείου υποδεικνύει τι λάθος έγινε και σε ποιο σημείο του κυκλώματος.

#### 5. Τομή και 3-D απεικόνιση των transistors που σχεδιάστηκαν στα προηγούμενα βήματα.

- Παρατήρηση της εγκάρσιας τομής του κυκλώματος.

Επιλέγοντας το εικονίδιο  μπορείτε να δείτε μία κάθετη τομή του κυκλώματος. Η τομή αυτή ορίζεται σχεδιάζοντας μία ευθεία γραμμή πάνω στο κύκλωμα κρατώντας το κουμπί του mouse πατημένο. Για παράδειγμα ξεκινώντας από τα αριστερά του PMOS στοιχείου και πηγαίνοντας προς τα δεξιά, μπορείτε να παρατηρήσετε την εγκάρσια τομή του.



**Εικόνα. Τομή του pmos.**

- **Παρατήρηση των βημάτων κατασκευής σε 3D.**

Επιλέγοντας το εικονίδιο 3-D μπορείτε να δείτε μία βήμα προς βήμα τρισδιάστατη απεικόνιση της διαδικασίας κατασκευής του τρανζίστορ που σχεδιάσατε πάνω στην επιφάνεια του δισκιδίου του πυριτίου.