

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU

Faculté de génie électrique et d'informatique

Département électronique

Mémoire du MASTER 2

Option: Micro-électronique



Thème :

**Conception et simulation d'un capteur de champ
magnétique à effet Hall compatible avec la technologie
CMOS**

Présenté par : M^{elle} BOUCHENE Lynda

Mr CHERTOUK Mourad

Mémoire soutenu publiquement le 11 juillet 2017 devant le jury composé de :

M^{me} BOUDIA Ouardia

Présidente

Mr TAHI Hakim

Promoteur

M^{elle} HATEM Djedjiga

Examinatrice

Année 2017-2018

Remerciement

Nous remercions Dieu Tout Puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour l'élaboration de ce modeste travail. Nous remercions nos parents pour leurs sacrifices

Nous remercions notre promoteur Mr TAHI Hakim et co-promoteur M^{me} NEMMAR Farida pour leur encadrement, leur aide et surtout leur patience tout au long du semestre, ainsi chef de spécialité microélectronique M^{me} HATEM Djedjiga pour ses encouragements.

Merci d'avance aux membres du jury, y compris M^{me} BOUDIA Ouardia, qui nous ont honorés de leurs participations et attentions portées à notre mémoire de fin d'études.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux et à toutes celles, qui ont contribué de près ou de loin avec leur encouragement et participation nous ont permis de mener à bonne fin notre travail de mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- *Ma très chère mère et mon très cher père.*
- *Mes frères et à ma sœur.*
- *Mes amis*
- *Et toute personne qui ma aidée de loin ou de prés.*

M. CHERTOUK

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- *Ma très chère mère et mon très cher père.*
- *Mes frères et sœurs et toute ma famille.*
- *Mes amis de la fac ainsi mes amis de toujours spécifiquement ma chère copine Cylia qui a été toujours avec moi.*
- *Toute personne qui m'a aidée de loin ou de près.*

L. BOUCHENE

Liste des Figures

Chapitre I

Figure 1.1 : le marcher d'utilisation des capteurs de champ magnétique en 2007 pour un volume d'affaire 940 M\$.....	4
Figure 1.2 : l'effet hall dans un semi-conducteur.....	7
Figure 1.3 : schéma de principe d'un capteur magnétorésistance monté en pont de Wheatstone et opérant en boucle fermée.....	8
Figure 1.4 : géomètre d'un capteur magnéto résistif anisotropique avec la direction de courant, la magnétisation M et la direction de courant I.	9
Figure 1.5 : diminution de la résistance à l'application d'un champ B.....	10
Figure 1.6 : phénomène de diffusion dans les (GMR)	11
Figure 1.7 : Structure de base d'un capteur flux gate.....	12
Figure 1.8 : schéma de principe du capteur flux gate.....	13
Figure 1.9 : la réponse d'une bobine lors de l'application d'un champ magnétique.	14
Figure 1.10 : principe de fonctionnement du SQUID.	16

Chapitre II

Figure 2.1 : Schéma d'un capteur à effet hall.	21
Figure 2.2 : l'effet hall dans un échantillon long.....	22
Figure 2.3: Géométrie sous forme papillon.....	26
Figure 2.4 : L'erreur de linéarité	27
Figure 2.5 : Surface de capture de l'induction magnétique induite.....	28
Figure 2.6 : Structure interne d'un capteur à effet hall.	29

Chapitre III

Figure 3.1 : schéma synoptique des modules utilisés dans la simulation parTCAD-SILVACO	34
Figure 3.2 : les outils d'ATLAS	35
Figure 3.3 : Extraction de dopage avec la fonction cutline.	35
Figure 3.4 : Dopage en fonction de la dose utilisé lors de l'implantation ionique.....	36
Figure 3.5 : Dopage en fonction de l'énergie de l'implantation ionique	37
Figure 3.6 : Profondeur de la jonction en fonction de la dose et l'énergie de l'implantation ionique.....	37
Figure 3.7: Maillage d'un dispositif à deux dimensions	38
Figure 3.8 : Substrat plus une couche d'oxyde	39
Figure 3.9 : Gravure de l'oxyde	39
Figure 3.10 : Dopage au phosphore et recuit thermique	40
Figure 3.11 : Dépôt d'une couche d'oxyde	40
Figure 3.12 : Dopage au bore pour crée le canal stop	41
Figure 3.13 : Recuit thermique.....	41
Figure 3.14 : Dépôt d'une couche d'oxyde	42
Figure 3.15 : Création des zones N+	42
Figure 3.16 : Dépôt d'une couche d'aluminium	43
Figure 3.17 : Structure complète du capteur	43
Figure 3.18 : Structure finale du capteur à deux dimensions	44
Figure 3.19 : Dopage obtenu après avoir fait la conception.....	45
Figure 3.20 : Masque du capteur a effet hall à 2 dimensions sur cadence.	46

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1 .1 : plages de mesure des principaux capteurs de champ magnétiques	5
Tableau 1.2 : comparaison entre les capteurs de champ magnétique.....	18
Tableau 1.3 : conclusion sur les capteurs de champ magnétique.....	19

Chapitre II

Tableau 2 .1 : L'effet hall suivant la nature des charges majoritaires.....	25
Tableau 2.2 : Mobilités des matériaux utilisable pour fabriqué le générateur de hall.....	25

Chapitre III

Tableau 3.1 : Paramètres de conception du capteur	38
Tableau 3.2 : Les dimensions du masque.....	46

Sommaire

Sommaire

Chapitre I : Etats de l'art des capteurs de champ magnétique

Liste de figures

Liste des tableaux

Introduction	3
I- historique de magnétisme et présentation des unités	3
Présentation des unités :	4
I-2 la mesure de champ magnétique	4
I-2-1 plage de mesure des différents capteurs	5
I-2-2 Caractéristiques des capteurs de champ magnétiques	5
I-3 Différents capteurs de champ magnétique	6
I-3-1 capteurs à effet hall	6
a-Historique	6
b- Principe de fonctionnement	6
c- Applications des capteurs à effet hall	7
I-3-2 capteurs magnéto résistifs	7
I-3-2-1 Anisotropic magnéto résistance (AMR)	8
Principe de fonctionnement:	9
Applications des capteurs (AMR)	10
I-3-2-2 : capteurs géants magnéto résistants	10
Historique	10
Principe de fonctionnement	10
Application des capteurs (GMR)	11
I-3-3 les magnétomètres	12
I-3-3-1 flux gâte	12
Historique	12

Principe de fonctionnement de flux gâte	13
Application	14
I-3-3-2 SQUIDS capteur de précision.....	14
Historique	14
Principe de mesure.....	15
Applications du SQUID.....	16
I-3-3-3 les micro-magnétomètres	16
I-3-3-4 Magnétomètres inductifs.....	17
I-4 Comparaison et conclusion sur les capteurs de champ magnétique.....	18
Conclusion.....	19

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

Introduction	21
II-1 Principe physique de l'effet hall.....	21
II-1-1 Effet hall dans un long échantillon	22
II-1-2 Comparaison des effets hall suivant la nature des charges	24
II-2 construction de capteur à effet hall.....	25
II-2-1 l'optimisation caractéristique des générateurs de hall	26
II-3 Imperfection liées aux capteurs a effet hall.....	26
II-3-1 Limitation en fréquence	26
II-3-2 Influence de la température.....	26
II-3-3 Résistance de charge	26
II-3-4 Composante d'offset en sortie	27
II-3-5 Composante de tension d'origine inductive.....	27
II-4 différentes formes des capteurs à effet hall	28
II-5 Avantages des capteurs à effet hall	30
II-6 Limites des capteurs à effet hall	30

Conclusion :.....	30
-------------------	----

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

Introduction	32
Objectif de ce chapitre.....	32
III-1 Simulation des étapes de fabrication par le simulateur SILVACO	33
III-1-1 Présentation de SILVACO	33
III-1-2 Simulateur physique ATLAS	34
III-2 Paramètres de l'implantation ionique (dose et énergie).....	35
III-3 Les étapes de la conceptions et simulation de capteur.....	38
III-4 Dessin du masque avec cadence	45
III-4-1 Présentation de cadence.....	45
III-4-2 Le masque.....	45
III-4-3 Dimensions du masque.....	46
III-4-4 L'objectif de dessin de masque	46
III-5 Perspective	47
Conclusion.....	47
Conclusion générale.....	49

bibliographie

Annexes

Résumé

Le capteur de champ magnétique à effet hall fait partie des capteurs intégré, il permet la mesure de champ magnétique avec une grande résolution.

L'objectif principal de ce travail est de déterminé les paramètres de conception du capteur à effet hall pour une technologie de 1µmètre et une sensibilité de 13V/T, afin faire la conception et la simulation de ce dernier par le simulateur SILVACO et le dessin de masque sur logiciel CADENCE pour bien comprendre le comportement de ce capteur et son principe de fonctionnement. On a fait aussi une partie théorique contenant des généralités et de notions de base sur les capteurs de champ magnétique.

La conception et la simulation nous a permis de définir les différentes étapes de fabrication de capteur à effet hall.

Mots clés : capteur, effet hall, simulateur

Abstract

The Hall effect magnetic field sensor is part of the built-in sensors, it allows magnetic field measurement with high resolution.

The main objective of this work is to determine the design parameters of the Hall effect sensor for a 1µm technology and a sensitivity of 13V / T, in order to make the design and the simulation of the latter by the SILVACO simulator and the drawing of mask on CADENCE software to understand the behavior of this sensor and its operating principle. We also did a theoretical part containing generalities and basic notions about magnetic field sensors.

The design and simulation allowed us to define the different stages of Hall effect sensor manufacturing.

Keywords: sensor, hall effect, simulator

Introduction Générale

Introduction Générale

Les capteurs de champ magnétique sont de nos jours les détecteurs ou les transducteurs les plus nombreux dans l'industrie ainsi dans les circuits électroniques. Leur fonction qui est de convertir une information sur le champ magnétique ambiant en un signal électrique exploitable.

Parmi tous les types des capteurs de champ magnétique existants, les capteurs à effet hall sont les plus utilisés dans l'industrie, et ce dû à leur sensibilité, simplicité d'intégration, faible consommation et leur large plage de mesure ainsi sont les moins coûteux.

L'objectif de ce mémoire est de faire la conception et la simulation d'un capteur à effet hall compatible à la Technologie CMOS 1μ mètre disponible au niveau du CDTA avec une sensibilité qui est égale à $13V/T$.

Trois chapitres composent ce mémoire et à travers lesquels nous décrivons le travail effectué pour la réalisation de notre travail.

Le premier chapitre illustre les différents capteurs de champ magnétique existants ainsi que le principe de fonctionnement de chaque type des capteurs et leurs applications.

Le deuxième chapitre parle sur le phénomène de hall, le principe de fonctionnement de ce capteur ainsi leurs avantages et inconvénient. Cette étude théorique va nous permettre de choisir le type de matériaux qui servent à la fabrication de notre dispositif.

Enfin Dans le troisième chapitre nous sommes intéressés à déterminer les paramètres de conception afin de faire la conception et la simulation de ce capteur par le simulateur SILVACO ainsi le dessin de masque avec logiciel cadence.

Chapitre I

L'état de l'art des capteurs de
champ magnétique

INTRODUCTION

Ce chapitre propose une introduction sur le magnétisme et la technologie la plus adaptée pour la détection et la mesure de champ magnétique.

Afin de permettre le choix du capteur correspondant à notre mesure, nous allons exposer les différents capteurs de champ magnétique, leurs caractéristiques, leurs principe ainsi que leurs applications.

I- historique de magnétisme et présentation des unités

A l'échelle humaine, l'illustration du magnétisme peut être vue comme la force qui fait tourner l'aiguille d'une boussole sous l'action du champ magnétique terrestre, ou les forces d'attraction et de répulsion qui apparaissent entre deux matériaux aimantés. La première trace écrite sur le magnétisme date de l'écrivain chinois Guanzhong, décédé en 645 avant J.C. [2] qui parle de « pierres d'aimant ».

Le nom magnétisme provient de la ville d'Asie Mineure « Magnesia ad Sipylum » d'où étaient extraits les premiers aimants dans l'Antiquité gréco-latin. A cette époque la pierre d'aimant est décrite comme « la pierre qui attire le fer ».

Le champ électromagnétique est pour l'homme, de part sa nature « invisible », un phénomène difficile à appréhender. Historiquement, c'est d'abord le champ électrique qui fut mis en évidence et décrit par Coulomb (1736-1806) à l'aide de deux particules chargées au repos.

Il faudra attendre quelques décennies pour que les premiers résultats sur le magnétisme voient le jour grâce aux expériences de Laplace (1749-1827) et Ampère (1775-1836) [2].

En 1820 Ampère et Oested [2] font le lien entre le courant électrique et le champ magnétique. Ampère suggéra que le magnétisme de la matière pourrait bien être créé par des petites boucles de courant électrique à l'échelle moléculaire. Michaël Faraday (1791-1867) [2] découvrit le principe de l'induction magnétique et construisit la première dynamo qui fonctionne avec ce principe physique. James Clerk Maxwell (1831-1879) établit les lois fondamentales du magnétisme avec les 4 équations dites de Maxwell. Pierre Curie (1859-1906) inventa les notions de paramagnétisme, diamagnétisme et ferromagnétisme

Chapitre I : états de l'art des capteurs de champ magnétique

Ces travaux permirent Paul Langevin (1872-1949) de décrire les notions de magnétisme induit et rémanent. Enfin, Louis Néel ((1904-2000) reçut le prix Nobel en 1970 pour ses découvertes sur l'antiferromagnétisme.

Présentation des unités :

Le champ magnétique est noté et s'exprime en Ampère par mètre (A/m) ou Oersted (Oe). Le champ d'induction magnétique s'exprime en Tesla (T). On utilise parfois le Gausse (G) :

1T=10000 G.

I-2 la mesure de champ magnétique

Les capteurs de champ magnétique occupent aujourd'hui une place prépondérante dans notre environnement .ils participent à de nombreuses fonctions de multiple applications aussi bien dans l'électronique grand public (boussoles électronique, stockage magnétique des données), aussi dans les systèmes de mesure et de contrôle industriels.

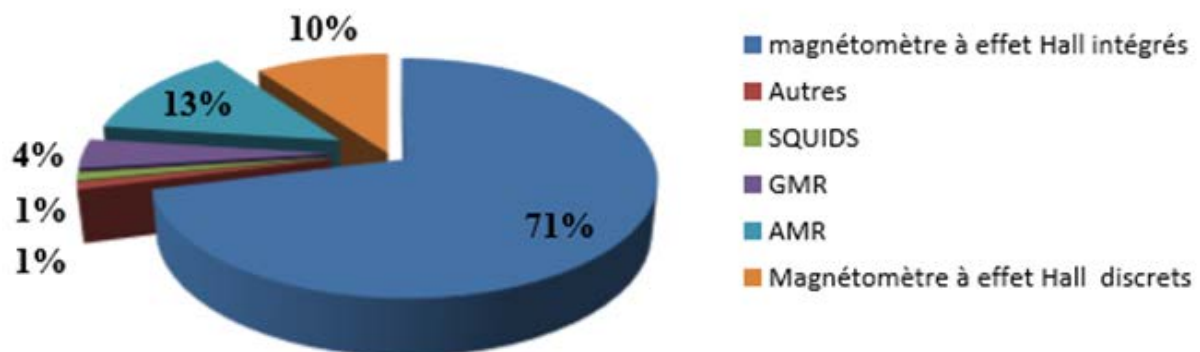


Figure 1.1 : le marcher d'utilisation des capteurs de champ magnétique en 2007 pour un volume d'affaire 940 M\$[2]

La 1^{ere} application des capteurs de champ magnétique a été faite pour la détection des mines sous mariner durant la seconde guerre mondiale .aucune automobile, aucun ordinateur, aucune usine ne pourrait aujourd'hui fonctionne sans avoir recours aux capteurs de champ magnétique. La miniaturisation des capteurs a rendu plusieurs applications possibles comme les boussoles électroniques portatives, lecteurs d'encre magnétique.

Chapitre I : états de l'art des capteurs de champ magnétique

Un capteur de champ magnétique est un transducteur convertissant une information sur le champ magnétique ambiant en un signal électrique utile. La plupart des capteurs de champ magnétiques sont des capteurs de variables d'environnement (température, pression, luminosité), par ce qu'ils mesurent les variations de champ magnétique pas le champ magnétique lui-même.

I-2- plage de mesure des différents capteurs

Les capteurs de champ magnétique généralement sont classes selon leur intervalle de mesure.

Capteur magnétique	Induction magnétique (T)				
	10^{-12}	10^{-8}	10^{-4}	10^0	10^4
<i>Champ magnétique terrestre</i>			—		
SQUID	—	—	—	—	
Fluxgate		—	—	—	
AMR		—	—		
GMR			—	—	—
Capteur à effet Hall				—	
Magnéto-optique			—	—	—
Magnéto-transistor			—	—	

Tableau 1 : plages de mesure des principaux capteurs de champ magnétiques [6]

SQUID : capteur de précision

AMR : Anisotropic magnétorésistance

GMR : capteurs géants magnéto résistants

I-2-2 Caractéristiques des capteurs de champ magnétiques

Les caractéristiques qui définissent les performances des capteurs de champ magnétique sont:

- La sensibilité : elle traduit les variations du signal de sortie par rapport aux variations du signal d'entrée.
- La bande passante : elle définit la gamme de fréquences dans laquelle le magnétomètre est utilisable.

Chapitre I : états de l'art des capteurs de champ magnétique

- La dynamique : c'est le rapport entre la plus grande et la plus petite valeur de la gamme de mesure du magnétomètre.
- La résolution spatiale : distance limite de distinction de deux sources magnétiques séparées.
- La détectabilité : c'est la plus petite mesure qui peut être mesuré par un capteur.
- La dérive en température : la température est un paramètre d'environnement qui influe sur la caractéristique de capteur, les paramètres susceptible d'être modifiés sont :
 - La sensibilité /gain
 - Le zéro ou offset
- La consommation : c'est la quantité d'énergie qui peut être consommée par le capteur
- le prix : c'est le coût d'un capteur tel que ce dernier joue un rôle très important dans le choix de l'industrie.

I-3 Différents capteurs de champ magnétique

I-3-1 capteurs à effet hall

a-Historique

L'effet Hall a été découvert en 1879 par le physicien Edwin Hall [1], il fait partie de l'ensemble des phénomènes galvanométriques qui s'observent dans le solide subissant l'action d'un champ électrique et d'une induction magnétique [1].

b- Principe de fonctionnement

L'effet hall apparaît si le semi-conducteur parcouru par un courant I et soumis à un champ magnétique perpendiculaire à la direction du courant, tel qu'on observe la dérivation des électrons du semi-conducteur et création d'un potentiel dans une direction perpendiculaire à la fois au champ magnétique et la direction du courant appelée tension de hall V_H . Cette dernière est proportionnelle au champ magnétique et à la densité du courant. L'étude de ce capteur doit être détaillée dans le chapitre qui suit.

L'effet hall apparait aussi dans les conducteurs, mais il est moins notable.

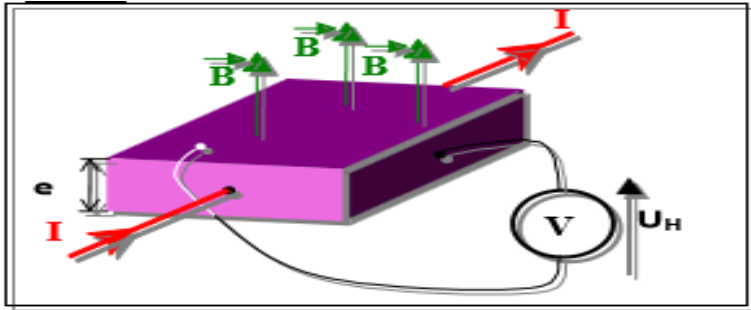


Figure 1.2 :l'effet hall dans un semi-conducteur

c- Applications des capteurs à effet hall

Il existe plusieurs applications des capteurs à effet hall:

- la caractérisation du type d'un semi-conducteur
- la mesure de la concentration des porteurs dans un semi-conducteur.
- la mesure de la température
- la mesure de courant forts sans contacte.
- la mesure des inductions magnétiques : teslamètre, gaussmètre, magnétomètre.
- la détection des câbles électriques cachés dans un mur.
- Ils sont aussi utilisés comme capteurs de position, de niveau ou de déplacement

I-3-2 capteurs magnéto résistifs

Les magnétorésistances sont des capteurs de champ magnétique à base des matériaux ferromagnétique, existent surtout en couches mince, ils présentent une forte sensibilité et une faible consommation d'énergie pour les faibles valeurs d'induction ainsi sont très sensibles mais pas très linéaires.

On désigne par magnétorésistance la variation de la résistance d'un matériau sous l'action d'un champ magnétique. Celui-ci peut agir directement sur les électrons de conduction ou indirectement en affectant l'aimantation, la résistance dépendant alors de l'état magnétique

du système. Il en existe différentes sortes magnétorésistances, les principaux sont : les AMR (Anisotropic Magneto Resistance), les GMR (Giant Magneto Resistance), et les TMR (Tunnel Magneto Resistance). Les empilements GMR et TMR peuvent être utilisés dans des structures appelées « transistors à effet vanne de spin ». Tous exploitent une variation de résistance d'un ou plusieurs éléments sensibles sous l'effet d'un champ magnétique externe.

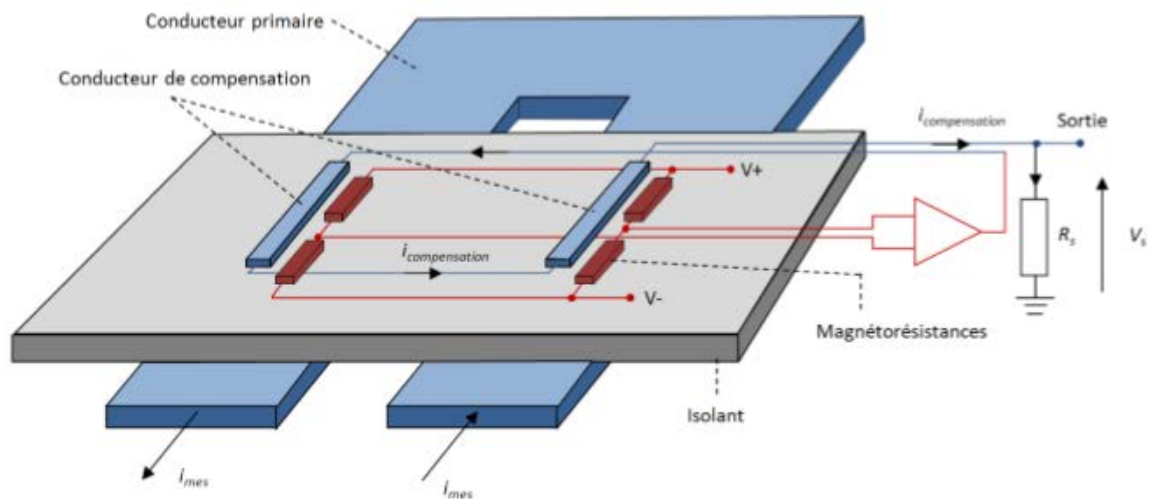


Figure 1.3 : schéma de principe d'un capteur magnétorésistance monté en pont de Wheatstone et opérant en boucle fermée.

I-3-2-1 Anisotropie magnétorésistance (AMR)

Les capteurs AMR arrivent en deuxième position en ce qui concerne le taux d'utilisation comme capteur magnétique derrière les capteurs à effet Hall. L'origine microscopique du phénomène est assez complexe et a fait l'objet de nombreuses études.

Ce type de capteurs existe surtout en couches minces. Ils présentent une forte sensibilité pour les faibles valeurs d'induction et une faible consommation d'énergie. Le maximum de variation de résistance est de l'ordre de 3 à 4%.

Chapitre I : états de l'art des capteurs de champ magnétique

Ces capteurs sont fabriqués à partir de couche ferromagnétique (par exemple du permalloy) qui présente une anisotropie magnétique obtenue par l'exposition à un champ magnétique fort pendant la formation du cristal, le type de réseau cristallin et la géométrie déterminent la direction de facile aimantation.

a- Principe de fonctionnement:

Le Principe de fonctionnement d'un capteurs AMR est basé sur la variation de la résistance d'un matériau en fonction de la direction de l'aimantation, tel que la variation de la résistance est reliée à l'angle ϕ entre la magnétisation M du matériau et la direction de facile aimantation comme indiqué sur la Figure 1.4 est l'angle entre la magnétisation M et le courant I .

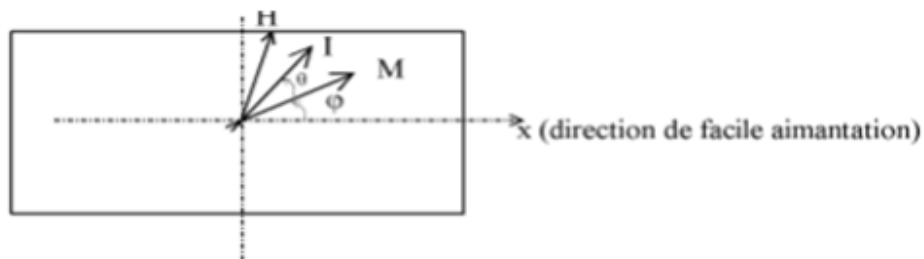


Figure 1.4 : géométrie d'un capteur magnéto-résistif anisotrope avec la direction de courant, la magnétisation M et la direction de facile aimantation x .

L'application d'une excitation magnétique H dans le plan entraîne une rotation de l'aimantation M . Supposons que le champ H soit appliqué suivant y et $H_x = 0$. La relation entre ϕ et H_y est donnée par :

$$\sin \phi = \frac{H_y}{H_0} \quad (1.1)$$

Et la résistance R est reliée à H par la relation suivante:

$$R(H) = R_{\perp} + \Delta R_{\max} \cdot \cos^2 \theta \quad (1.2)$$

R_L est la résistance quand M est perpendiculaire à I .

b- Applications des capteurs (AMR)

Les capteurs magnéto-résistifs de type AMR sont principalement utilisés dans la mesure des champs faibles en raison de leur grande sensibilité comme capteur de courant, boussole.

I-3-2-2 : capteurs géants magnéto résistants

a- Historique

L'effet de magnétorésistance "giant" a été découvert en 1988 par l'équipe de Fert [2] dans des empilements de fines couches de matériaux ferromagnétiques (Fer) séparées par des matériaux non magnétiques (Chrome)[5].

Les magnétomètres GMR peuvent mesurer un champ allant du continu à plus d'1MHz, avec une bien meilleure sensibilité et un meilleur comportement en température que les capteurs à effet Hall.



Figure 1.5 : diminution de la résistance à l'application d'un champ B

a- Principe de fonctionnement

Son principe de fonctionnement est basé sur la diminution de la résistance électrique d'un matériau lors d'application d'un champ magnétique, tel que les variations de la résistance

dans les structures (GMR) s'expliquent par le phénomène de diffusion des électrons dépendants du spin.

En effet, dans les éléments ferromagnétiques les électrons de spin down (c'est-à-dire ceux dont le spin est antiparallèle au vecteur aimantation) sont plus fortement diffusés que les électrons de spin up (spin parallèle au vecteur aimantation).

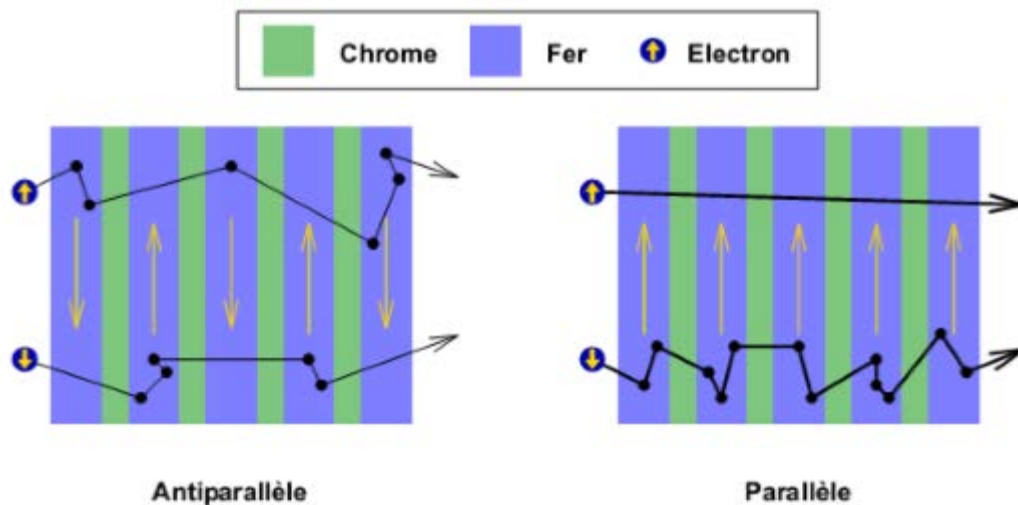


Figure 1.6 : phénomène de diffusion dans les (GMR)

b- Application des capteurs (GMR)

Les magnéto-résistifs GMR sont principalement destinés à deux types de capteurs :

1- Les gradiomètres (qui détectent une variation du champ magnétique entre deux points)

2- Les magnétomètres (qui permettent de mesurer l'intensité d'un champ magnétique).

- On les trouve aussi dans les têtes de lecture des disques durs.
- La mesure de la vitesse comme des gradiomètres de la société américaine NVE sont ainsi utilisés pour mesurer la vitesse de rotation et la position.
- La mesure des courants électriques est une autre application

- ils permettent de réaliser des codeurs magnétiques linéaires et angulaires, et des réseaux de ponts permettant de détecter un motif dessiné par des encres magnétiques.

I-3-3 les magnétomètres

Le magnétomètre est un dispositif de mesure de champ magnétique extrêmement précis, peut être utilisé pour la mesure des champs magnétiques continu ou basse fréquence dans la gamme de 10^{-10} à 10^{-4} Tesla.

I-3-3-1 flux gâte

a- Historique

Les premiers capteurs flux gâte ont été développés dans les années 1930 [6], mais ils sont toujours utilisés aujourd'hui avec le même principe dans de nombreuses applications. Notamment celles qui se fondent sur la mesure du champ terrestre.

Le flux gate est un capteur actif et vectoriel permettant la mesure de champ magnétique statique ou basse fréquence ($<10\text{Khz}$). Ce dernier permet aussi la mesure absolue du champ ainsi sa direction et sa grande plage de mesure est l'un de ces avantages majeur. Il est capable de mesurer le champ terrestre avec une résolution de 10 pT.

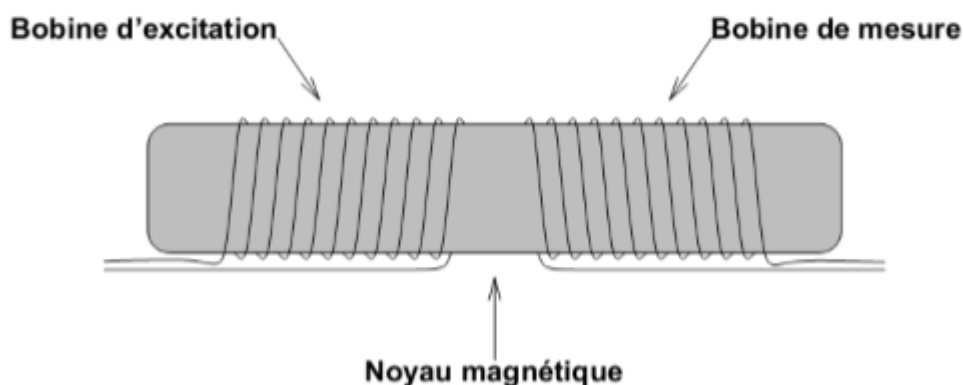


Figure 1.7 : Structure de base d'un capteur flux gate

L'une de ces bobines est pour l'excitation et l'autre pour la détection

b- Principe de fonctionnement de flux gâte

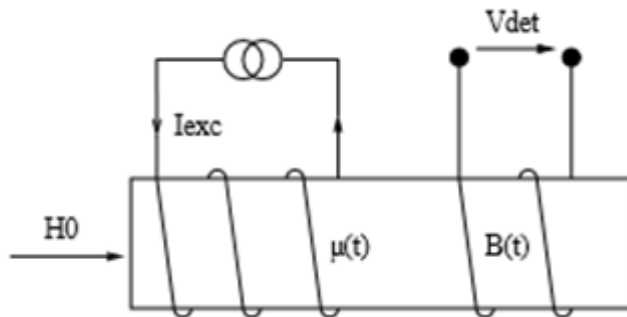


Figure 1.8 : schéma de principe du capteur flux gâte

Son principe de fonctionnement est basé sur la modulation temporelle de la perméabilité μ du matériau ferromagnétique. Un courant injecté dans la bobine d'excitation produit un champ magnétique $H_{exc}(t)$ qui sature le noyau ferromagnétique et fait chuter la valeur de la perméabilité du milieu. Le flux d'induction de la bobine de mesure étant à peu près proportionnel à l'aimantation d'un noyau :

$$B = \mu_0(H+M) \approx \mu_0 M \quad (1.3)$$

La tension induite dans la bobine de mesure se présente sous la forme d'une série d'impulsions. En l'absence de champ externe, ce signal ne contient que des harmoniques impaires du signal d'excitation. La présence d'un champ magnétique externe s'ajoutant au champ magnétique d'excitation induit une asymétrie dans le champ total ce qui se traduit par l'apparition d'harmoniques paires dans le signal obtenu aux bornes de la bobine de mesure (voir la figure 1.9).

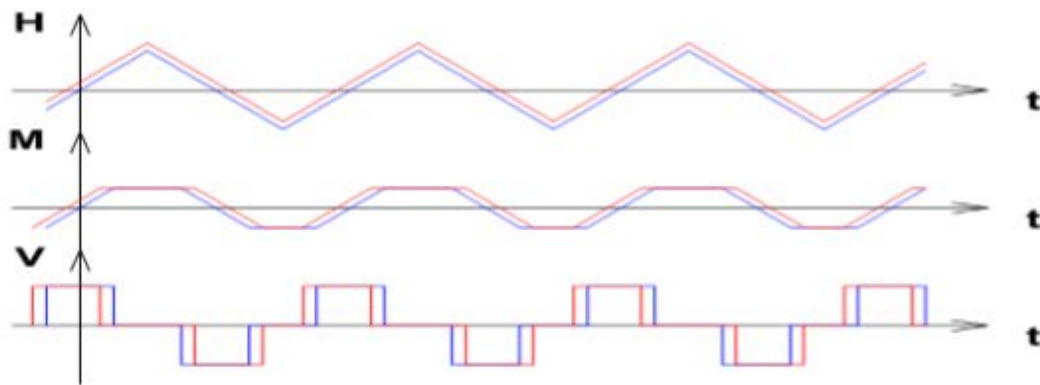


Figure 1.9 : la réponse d'une bobine lors de l'application d'un champ magnétique

Lorsqu'un champ externe est appliqué (courbes rouges), il s'ajoute au champ d'excitation et perturbe la séquence normale (courbes bleues). De haut en bas, le champ H appliqué au noyau magnétique l'aimantation M du noyau et la tension V induite dans la bobine de mesure.

A l'aide de techniques de filtrage associées à un système de détection synchrone, il est alors possible de déduire la valeur du champ magnétique externe.

c- Application

Les flux gâtes sont utilisés dans les applications de haute précision

I-3-3-2 SQUIDS capteur de précision

a- Historique

Le SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) a été inventé en 1964 par **Robert Jaklevic, John J, Lambe, James Mercereau** et **Arnold Silver** des laboratoires de recherches [3].

Le SQUID est un capteur de précision utilisé pour la mesure des champs magnétique très faible, généralement est constitué de deux jonctions **Josephson** montées en parallèle dans une boucle supraconductrice.

b- Principe de mesure

Le principe de fonctionnement du SQUID repose sur un double phénomène quantique impliquant à la fois le même quantum ϕ : la quantification du flux magnétique traversant un anneau supra conducteur et l'oscillation de supra courant circulant à travers une jonction. Dans les SQUID, la tension mesurée oscille avec les changements de la phase aux deux jonctions, qui dépend du changement du flux magnétique. Le comptage des oscillations permet d'évaluer le changement de flux qui s'est produit.

Ce type de capteur ne permet pas la mesure de champ magnétique mais plutôt sa variation ainsi sont capable de mesurer toutes grandeur physique qu'elle soit magnétique, électrique, thermiques, mécaniques.....

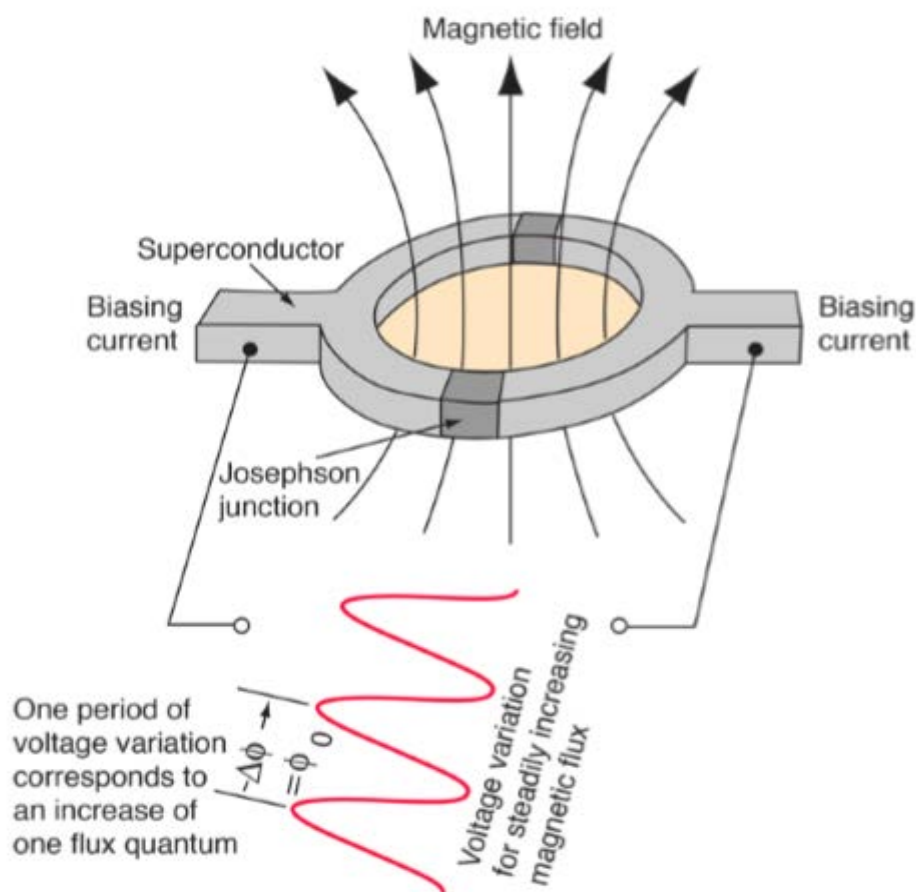


Figure 1.10 : principe de fonctionnement du SQUID.

c- Applications du SQUID

Les SQUID offrent un panel d'application extrêmement vaste touchant de nombreux domaines comme La métrologie, le thermomètre et la spectroscopie. quelque application :

- La mesure de la tension, le courant et la résistance
- La mesure des micro-ondes
- Détecteur de zéro pour un niveau de tension (voltmètre)
- Détecteur de flux magnétique

Ce type des capteurs est très utilisé dans le domaine médical (MEG, IRM et imagerie médicale)

I-3-3-3 les micro-magnétomètres

Les micro-magnétomètres à base de structure MEMS (MicroElectroMechanicalSystems) restent encore au niveau de développements académiques. Ils utilisent pour la plupart la force de Lorentz, et ils comportent des matériaux magnétiques.

Ce type de capteur est réalisé avec différents modes de détection :

- détection capacitif
- détection piezo-résistive
- détection optique

Les principaux avantages des magnétomètres MEMS sont :

- Bonne sensibilité et linéarité
- Basse consommation
- Multi-gammes et jusqu'à trois axes sur le même composant

I-3-3-4 Magnétomètres inductifs

Les magnétomètres inductifs, appelés aussi bobines de capture, sont souvent utilisés dans des dispositifs nécessitant une production à grande échelle. Leur technologie est employée par exemple dans les têtes de lecture des magnétophones et des magnétoscopes, ou encore dans diverses antennes magnétiques servant à la communication ou à la navigation.

Un magnétomètre inductif fonctionne sur la base de la loi de Faraday :

$$V_i = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(NS\mu_0 \mu_r H(t))}{dt} \quad (1.4)$$

Tel que

V_i : représente la tension instantanée induite dans une bobine de N spires.

S : est la surface de la section

H : le champ magnétique dans le noyau de la bobine ayant une perméabilité relative μ_r .

Il est possible de structurer cette technologie de magnétomètre en deux parties :

- a- magnétomètre sans noyau ferromagnétique
- b- magnétomètre avec noyau ferromagnétique

I-4 Comparaison et conclusion sur les capteurs de champ magnétique

Il existe de nombreuses manières de mesurer le champ magnétique grâce aux différents capteurs magnétiques, le tableau suivant résume l'utilisation de ces capteurs

	Capteur à effet hall	ARM	GRM	SQUID	Flux gâte	Capteur inductive
Etendue de mesure	10^3 mT	1mT	10mT	-	8mT	10^6 mT
Dérive en température	100 -1000 ppm /C	3000 ppm /C	3000 ppm/C	-	<100 ppm/C	$(0,2) \times 10^{-6}$
Bruit en champ (nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$)	$(1-10) \times 10^4$	1-10	1-10	-	1	$(0,2-1) \times 10^{-6}$
Sensibilité au champ magnétique	faible	forte	Forte	-	faible	Faible/forte Sans /avec
Précision	Faible	Moyenne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne et adaptable
Consommation	100 μ W_100mW	20_70mW	1_5mW	-	10 mW	40mW
Bande passante	DC 1GHz	DC 1GHz	DC 1GHz	-	DC 1MHz	3×10^{-4} Hz_1GHz

Tableau 2 : comparaison entre les capteurs de champ magnétique

Niveau de champ	10^{-9} T		10^{-4} T
Catégorie	Haute précision	Moyenne précision	Faible précision
Définition	Mesure de gradient	Mesure de champ magnétique terrestre	Mesure de champ supérieur au champ terrestre
Application	Encéphalographie magnétique	Boussole Détection de munition	Mémoire magnétique Mesure de courant Détection sans contact
Capteur	SQUID	Capteur à induction Fluxgate Magnétorésistances	Capteurs à induction Capteurs à effet Hall

Tableau 3 : conclusion sur les capteurs de champ magnétique

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu global sur les différents type des capteurs de champ magnétique peuvent être utilisés pour mesure le champ magnétique

Le choix des capteurs de champ magnétique ce n'est pas au hasard mais ces dernières sont les plus adapte à la mesure de champ magnétique et les plus utilises.

Dans le chapitre suivant nous allons revenir au capteur de champ magnétique à effet hall ou on va détailler ce capteur.

Chapitre II

Etude théorique d'un capteur à
effet hall

Introduction

Vu à la simplicité d'intégration des capteurs à effet hall et la disponibilité d'une salle blanche au niveau du CDTA, le travail présenté dans ce mémoire sera consacré aux capteurs à effet hall. En particulier ce deuxième chapitre sera destiné à l'étude théorique des capteurs à effet hall.

II-1 Principe physique de l'effet hall

Lorsqu'un matériau (semi-conducteur ou conducteur) parcouru par un courant I est placé dans un champ magnétique perpendiculaire à la direction de courant, il apparaît une différence de potentiel dans le matériau dans la direction perpendiculaire au courant et au champ magnétique.

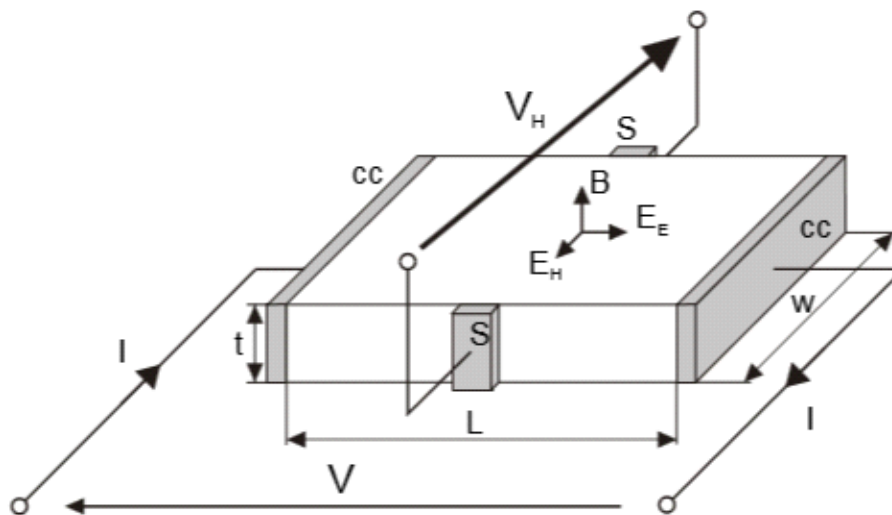


Figure 2.1 : Schéma d'un capteur à effet hall.

La tension apparue est appelée « tension de hall », tel que le champ magnétique appliqué dévie les porteurs de charge dans une direction perpendiculaire à leur trajectoire initiale.

On suppose que la conduction est assurée par les électrons, donc, sous l'action d'un champ magnétique ces charges négatives vont être déviées vers l'électrode transversale (force de Lorentz) cette accumulation de charges provoque l'apparition d'un champ électrique qui va

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

Être à l'origine d'une force qui s'oppose à la force de Lorentz. Lorsque les deux forces s'équilibrent on teint le régime stationnaire.

Le champ électrique qui règne entre les électrodes explique la différence de potentiel V_H (la tension de hall)

II-1-1 Effet hall dans un long échantillon

Lorsqu'une longue bande conductrice parcourue par un courant I est placée dans un champ magnétique uniforme, les électrons dans la bande sont soumis à, la force magnétique de Lorentz F .

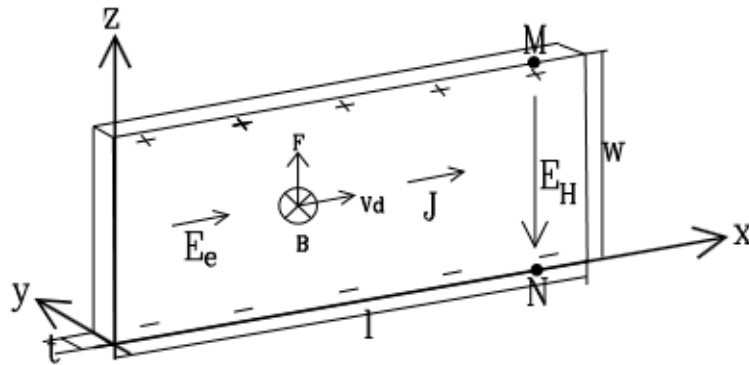


Figure 2.2 : l'effet hall dans un échantillon long.

• La force de Lorentz

$$\vec{F}_B = q (\vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (2.1)$$

q : C'est la charge élémentaire de l'électron égal à $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

\vec{v} : La vitesse des porteurs de charge

\vec{B} : L'induction magnétique

Sous l'effet de la force de Lorentz les électrons s'accumulent sur la face latérale, laissant sur la face opposée une charge égale, de signe opposée due aux atomes ionisés. Ces charges créent un champ électrique appelé champ de hall qui exerce à son tour une force qui s'oppose à celle de Lorentz. On finit par atteindre un régime stationnaire lorsque les deux forces s'équilibrent.

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

En régime stationnaire :

$$\vec{F}_B = -\vec{F} \quad (2.2)$$

Donc

$$\vec{F}_B + \vec{F} = 0 \quad (2.3)$$

On a $q (\vec{v} \wedge \vec{B}) = -q \vec{E}_H$

Alors $\vec{E}_H = (\vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (2.4)$

Le champ électrique qui règne alors entre les électrodes transversales explique la différence de potentiel qui existe entre elle.

Et comme le champ électrique, dérive de potentiel par définition :

$$\vec{E}_H = \frac{dU_H}{dx} = \frac{V_H}{L} \quad (2.5)$$

Avec L la longueur transversale de semi-conducteur

On a $\vec{v} = \frac{\vec{j}}{n \cdot q} = \frac{\vec{I}}{n \cdot q \cdot L \cdot w} \quad (2.6)$

Ce que donne $\vec{V}_H = L (\vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (2.7)$

Ce qu'implique $\vec{V}_H = \frac{1}{n \cdot q \cdot w} (\vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (2.8)$

$$\vec{V}_H = R_H \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (2.9)$$

En pratique \vec{I} et \vec{B} sont perpendiculaire alors on peut écrire

$$V_H = R_H \cdot I \cdot B \quad (2.10)$$

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

w : L'épaisseur la cellule de hall

R_H :La constante de hall qui dépende des dimensions du matériau et la température

- La relation de sensibilité de générateur de hall est donnée :

$$S = \frac{V_H}{B} \quad (2.11)$$

II-1-2 Comparaison des effets hall suivant la nature des charges

L'orientation de champ électrique est liée à la nature des porteurs de charges. L'raisonnement analogique effectué sur les porteurs (trous, électrons) est résumé dans le tableau 2.1.

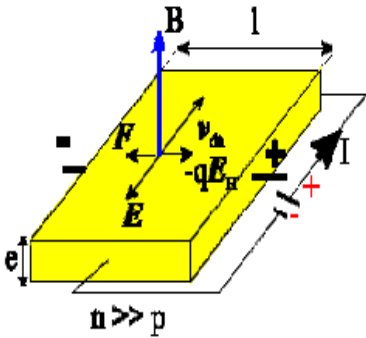
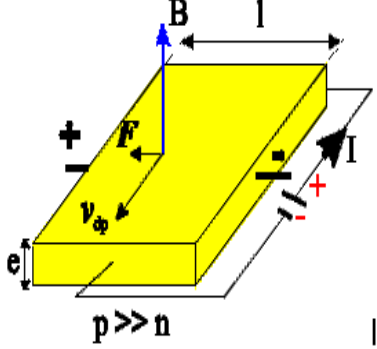
Nature de la conduction	Conduction par les électrons charges négatives	Conduction par trous Charges positives
Orientation des vecteurs		
Densité de courant	$\vec{j} = -n_e \cdot q \cdot \vec{v}$	$\vec{j} = n_p \cdot q \cdot \vec{v}$
Champ électrique	$\vec{E}_H = (\vec{v} \wedge \vec{B})$	$\vec{E}_H = (\vec{v} \wedge \vec{B})$
Constante de hall	$R_H = -\frac{1}{w \cdot q \cdot n_e}$	$R_H = \frac{1}{w \cdot q \cdot n_p}$
Champ électrique	$\vec{E}_H = R_H (\vec{B} \wedge \vec{j})$	$\vec{E}_H = R_H (\vec{B} \wedge \vec{j})$
Tension de hall	$\vec{V}_H = R_H \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B})$	$\vec{V}_H = R_H \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B})$

Tableau 2 .1 : L'effet hall suivant la nature des charges majoritaires.

II-2 construction de capteur à effet hall

L'effet générateur de Hall apparaît dans tous les matériaux conducteurs placés dans un champ magnétique ; dans lequel il circule un courant électrique, la constante de Hall est inversement proportionnelle au nombre de porteurs ionisés dans le matériau. Un matériau semi-conducteur est donc tout à fait indiqué pour constituer un générateur de Hall sensible. Donc le capteur à effet Hall est fabriqué à base d'un semi-conducteur en filme mince par LPCVD (LowPressure ChemicalVaporDesposition). Trois types de matériaux sont généralement utilisés : l'Antimoine d'Indium (InSb), l'Arséniure d'Indium (AsIn) et l'Arséniure de Galium (AsGa), après le Silicium(Si) et le Germanium(Ge) ces trois matériaux sont employés pour trois raisons :

- le même dopage, des conductivités supérieures à celles du Germanium (Ge) ou du Silicium (Si).
- Leur conductivité permet de polariser le capteur avec des courants plus importants pour avoir une sensibilité plus élevée.
- Ils présentent une forte mobilité et une faible densité de porteurs ionisés (Tableau 2.1).

Le matériau idéal possède une forte mobilité et une faible densité de porteurs ionisés.

	Si	Ge	InAs	InSb	AsGa
μ_n (cm ² /Vs)	1000	3900	33000	78000	8500
μ_p (cm ² /Vs)	500	1900	460	750	400

Tableau 2.2 : Mobilités des matériaux utilisable pour fabriqué le générateur de hall

II-2-1 l'optimisation caractéristique des générateurs de hall

Le rapport longueur sur largeur de la plaquette, la dimension réelle des électrodes de Hall interviennent fortement dans la diffusion des courants en présence de champ magnétique et permettent en pratique, d'optimiser les caractéristiques d'un générateur. La Figure 2.2 montre un type de géométrie utilisée pour concentrer le courant dans la région du centre et dans le but obtenir une forte sensibilité aux flux.

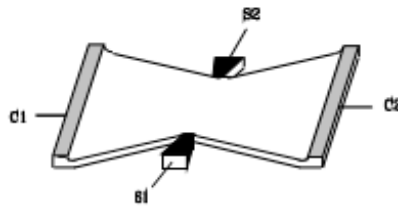


Figure 2. 3 : Géométrie sous forme papillon.

II-3 Imperfection liées aux capteurs a effet hall

Les capteurs à effet Hall sont des éléments présentant quelques défauts. La plupart peuvent être masqués par l'électronique utilisée, là on va présenter les principaux défauts qui peut-être marquent par ce type de capteur :

II-3-1 Limitation en fréquence

La bande passante utilisable des générateurs de Hall apparaît bien souvent limitée à quelques dizaines de kHz. Cette limitation de la bande de fréquences due au principe de l'effet Hall lui-même, Dans des utilisations courantes, nous ne serons pas gênés par une limitation en fréquence des capteurs à effet Hall.

II-3-2 Influence de la température

Lorsqu'un courant de polarisation est appliqué au capteur à effet Hall, il y a accroissement de la température du matériau. La température dans lequel plonge le capteur à effet Hall peut influencer ses caractéristiques électriques telles que l'offset ou la sensibilité du capteur.

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

Donc le matériau doit être choisi pour présenter une faible variation de ses caractéristiques en fonction de la température. Les variations des caractéristiques des capteurs à effet Hall en fonction de la température sont tributaires de la variation de la mobilité des porteurs, et de la variation du nombre de porteurs ionisés en fonction de la température.

II-3-3 Résistance de charge

Sur certains capteurs à effet Hall de précision, une résistance est placée en dérivation sur les broches de polarisation. La valeur optimale donnant l'erreur de linéarité la plus faible doit être ajustée pour chaque capteur.

L'erreur de linéarité est réduite au minimum lorsque la courbe de la grandeur de sortie réduite se rapproche le plus possible de la droite théorique. Elle est exprimée en pourcentage de la tension de sortie maximale (la figure 2.3).

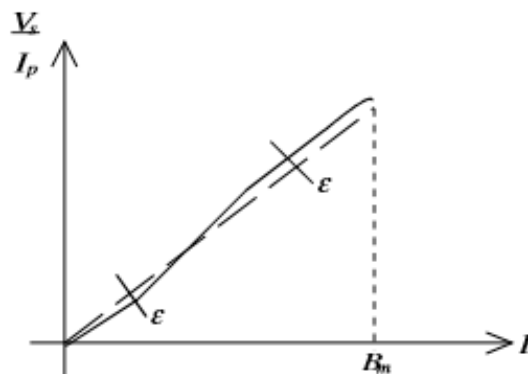


Figure 2.4 : L'erreur de linéarité

II-3-4 Composante d'offset en sortie

Dans la production à grande série il n'est pas possible de placer les électrodes de mesure de la tension de hall sur le même axe car il résulte une tension continue entre les deux bornes de capteur tel que cette tension est proportionnelle au courant qui circule dans le capteur à effet hall. Ces derniers intègrent la compensation d'offset. Si la résistivité du matériau varie en fonction de la température.

II-3-5 Composante de tension d'origine inductive

Les connexions d'alimentations et de mesure entre le capteur à effet Hall et le circuit d'alimentation, constituent une boucle enlaçant une certaine surface qui ne peut être annulée,

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

Même pour un câblage très soigné. Il s'ensuit qu'un flux magnétique traversant cette boucle, va générer une tension qui s'exprime par la relation :

$$U = S \frac{dB}{dt} \quad (2.12)$$

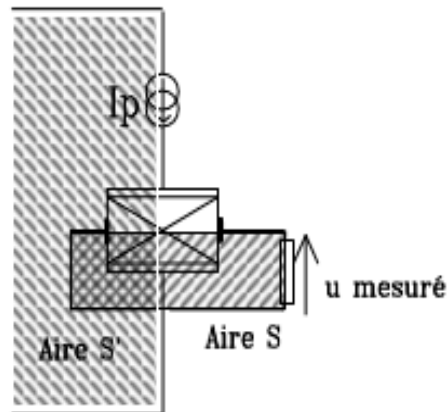


Figure 2 .5 : Surface de capture de l'induction magnétique induite.

Cette tension est dans le sens opposé à la tension de hall. Le même phénomène sur les connexions d'alimentation du capteur induit une tension qui modifie la polarisation.

Pour éviter que la tension d'origine inductive ne soit pas trop importante par rapport à la tension de sortie du capteur à effet Hall, il faut placer l'amplificateur au plus près de la cellule de Hall.

II-4 différentes formes des capteurs à effet hall

Les capteurs disponibles actuellement se présentent sous 2 formes :

- capteurs à effet Hall seul, sans électronique associée.
- capteur associé avec une électronique de traitement et de polarisation

Les capteurs disponibles sous la 1ère forme sont en général d'un coût moindre et d'un encombrement plus faible, notamment au niveau de leur épaisseur ce qui permet par exemple de pouvoir les loger dans des entrefers de faibles dimensions. Par contre, les imperfections inhérentes aux capteurs à effet Hall ne sont pas compensées.

Chapitre II : Etude théorique d'un capteur à effet hall

L'offset varie donc en fonction de la température ainsi que la sensibilité. D'un échantillon à un autre la dispersion de la sensibilité peut être très importante. N'ayant pas d'amplificateur en sortie du capteur à effet Hall, le signal de sortie est faible.

A titre d'exemple, ce capteur à effet Hall sans électronique associée est inutilisable dans une sonde de courant travaillant en boucle ouverte. Par contre dans une sonde de courant fonctionnant en boucle fermée, la linéarité et la variation de la sensibilité du capteur à effet Hall importent assez peu. Le capteur doit être choisi pour la stabilité de sa tension continue de sortie.

Le synoptique interne d'un capteur à effet Hall et son électronique rapprochée est représenté sur la Figure 2.6. La polarisation des capteurs à effet Hall peut être faite à courant constant ou sous tension constante. Les 2 sorties du capteur à effet Hall sont dirigées vers un amplificateur différentiel d'instrumentation.

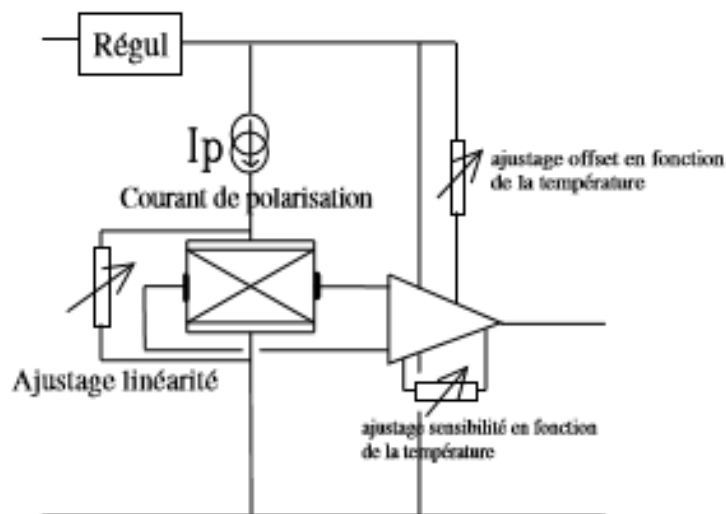


Figure : 2.6 : Structure interne d'un capteur à effet hall.

L'ensemble capteur à effet Hall et l'électronique rapprochée est souvent placé sur un circuit hybride. Le tout peut être noyé dans la matière plastique pour éviter les effets piézo-électriques sur la cellule de Hall. Les composants d'ajustages sont réglés à la fabrication, et certaines valeurs doivent pouvoir varier avec la température pour corriger l'effet sur la cellule de Hall.

II-5 Avantages des capteurs à effet hall

Parmi les nombreux avantages des capteurs à effet hall, on peut citer essentiellement :

- mesure des courants et des tensions continus, alternatifs et à forme d'onde complexe.
- isolation galvanique du système de mesure par rapport au circuit à mesurer.
- très bonne linéarité et excellente précision.
- temps de réponse très court en particulier en boucle fermée (capteur de tension et de courant).
- pas de perte d'insertion dans le circuit à mesurer.
- bonne tenue aux surcharges de courant moyennant une protection interne adéquate.

II-6 Limites des capteurs à effet hall

Les principaux inconvénients des capteurs à effet hall sont :

- ne sont pas parfaitement désaimantés
- présente toujours un offset (l'influence de la température sur la précision)
- sensibilité des performances à la température
- dans certains cas il y aura des pertes ferromagnétiques en hautes fréquences

Ces inconvénients généralement ne posent pas de problèmes dans les applications industrielles.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu global sur le principe physique des capteurs à effet hall et leurs caractéristiques ainsi leurs avantages et inconvénients

Dans le chapitre qui suit nous allons passer à la partie logicielle ou on va faire la conception et la simulation de ce capteur en suite le dessin de masque.

Chapitre III

Conception et simulation de
capteur à effet hall

Introduction

L'utilisation des simulateurs TCAD (Technology Computer-Aided Design) dans le domaine de la microélectronique pour la réalisation des composants donne une possibilité d'intégration et une production à faible cout dans le but d'économiser le temps de développement aussi.

Donc dans ce chapitre nous allons découvrir l'un de ces simulateurs, logiciel SILVACO avec ses différents outils de simulation interactif qui permettant la conception et l'analyse de la plupart des dispositifs semi-conducteur, ainsi la modélisation du comportement physique et électrique d'un composant électronique.

Objectif de ce chapitre

Le but de ce chapitre est de concevoir et de simulé un capteur à effet Hall complètement compatible avec la technologie CMOS 1 μ m disponible au niveau de CDTA. Ce capteur doit avoir une sensibilité de 13V/T, qui est la sensibilité de la plupart des capteurs à effet hall disponible dans le marché.

Pour atteindre la sensibilité désirée nous avons besoin de calculer le dopage nécessaire :

$$S = \frac{V_H}{B} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{On a } V_H = R_H \cdot I \cdot B$$

$$V_H = \frac{1}{q \cdot n} \cdot I \cdot B$$

On remplace dans (1) :

$$S = \frac{R_H \cdot I \cdot B}{B} = R_H \cdot I$$

$$S = \frac{1}{q \cdot n} \cdot I \quad \longrightarrow \quad S = \frac{I}{q \cdot n} \quad \longrightarrow \quad n = \frac{I}{S \cdot q}$$

Pour un courant injecté I=0.21 m A.

$$n = \frac{0,21 \cdot 10^{-3}}{(13 \cdot 10^{-4})(1,6 \cdot 10^{-19})}$$

$$n = \frac{0,21}{20,8} 10^{20}$$

$$n = 1 \cdot 10^{18} \text{ atomes/cm}^{-3}$$

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

Pour avoir le dopage calculé précédemment ($n = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), nous avons simulé par SILVACO la dose et l'énergie (d'implantation ionique) qui permettent d'atteindre ce dopage. Cette simulation est présentée dans la section suivante.

III-1 Simulation des étapes de fabrication par le simulateur SILVACO

Le but principal du simulateur est de baisser le nombre des étapes d'itérations nécessaires pour la fabrication d'un composant avec certaines propriétés désirées.

Les simulateurs utilisés pour la fabrication des composants à base des semi-conducteurs donnant comme résultats :

- caractéristiques $I(V)$, $C(V)$, $Q(V)$, $G(V)$
- courbe à 2 Dimension
- Courbe à 3 Dimension

III-1-1 Présentation de SILVACO

Depuis sa création en 1984 par le Dr. Ivan pesic, SILVACO est devenu le simulateur le plus important pour les composants à base des semi-conducteurs. SILVACO TCAD est l'abréviation silicon valley corporation technologie computer Aided Desing .il s'agit d'un logiciel de simulation processus semi-conducteur composé de plusieurs simulateurs physique (ATHENA, ATLAS, MERCURY Etc.) Regroupés sous un environnement appelé DECKBUIL. Et chaque simulateur a ces outils tous ça est résumé dans la figure3.1.

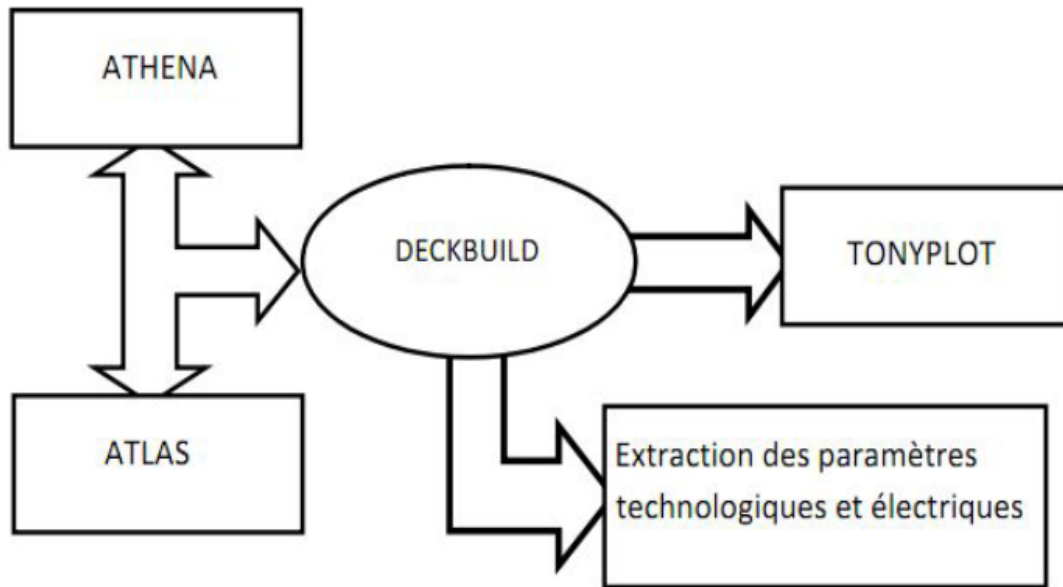


Figure 3.1 : schéma synoptique des modules utilisés dans la simulation par TCAD-SILVACO

III-1-2 Simulateur physique ATLAS

Le logiciel de simulation ATLAS est un simulateur de modélisation bidimensionnelle de composants, capable de prédire les caractéristiques électriques de la plupart des composants semi-conducteurs en régime continu, transitoire ou fréquentiel.

En plus du comportement électrique "externe", il fournit des informations sur la distribution interne de variables telles que les concentrations des porteurs, les lignes de courant, le champ électrique ou le potentiel.

Dans le cadre de notre travail nous avons utilisé uniquement les outils DECKBUILD et TONYPLOT.

- DECKBUILD : est un environnement d'exécution graphique interactif pour développer les ponts d'entrée de simulation de processus et de dispositifs. il est considéré comme la fenêtre principale de SILVACO.
- TONYPLOT : est un outil de visualisation qui trace les résultats de la simulation. il fournit des capacités de visualisation scientifique.

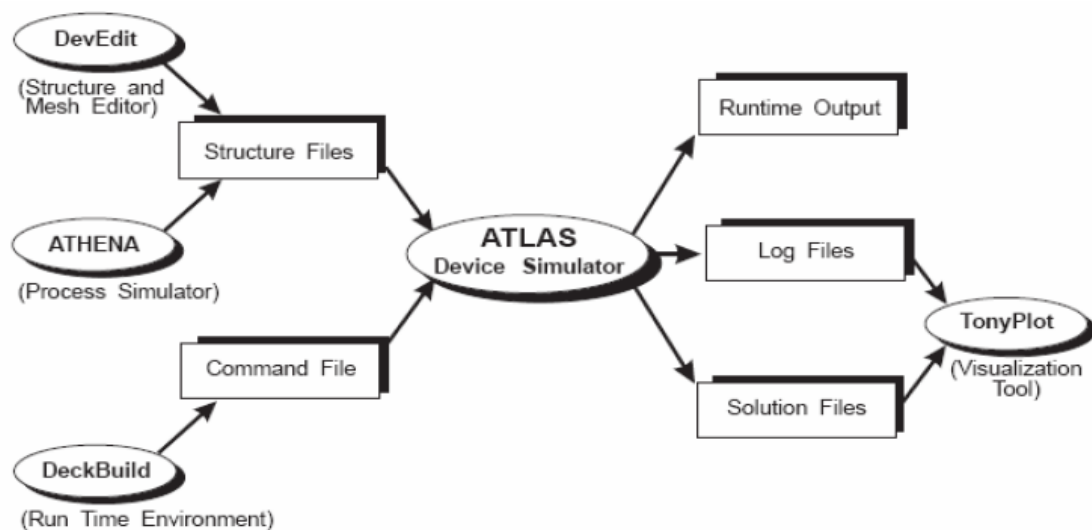


Figure 3.2 : les outils d'ATLAS

III-2 Paramètres de l'implantation ionique (dose et énergie)

Avant de passer à la conception du capteur sur SILVACO il faut d'abord déterminer les paramètres ; dose et énergie qui permettant d'avoir le dopage que nous avons calculé précédemment. Pour ce faire nous avons fixé la dose et faire varier l'énergie et vis-versa (nous avons fixé l'énergie et faire varier la dose).

La figure 3.3 présente un exemple de simulation que nous avons effectué sur SILVACO, qui présente l'extraction de dopage avec la fonction *cutline* de SILVACO.

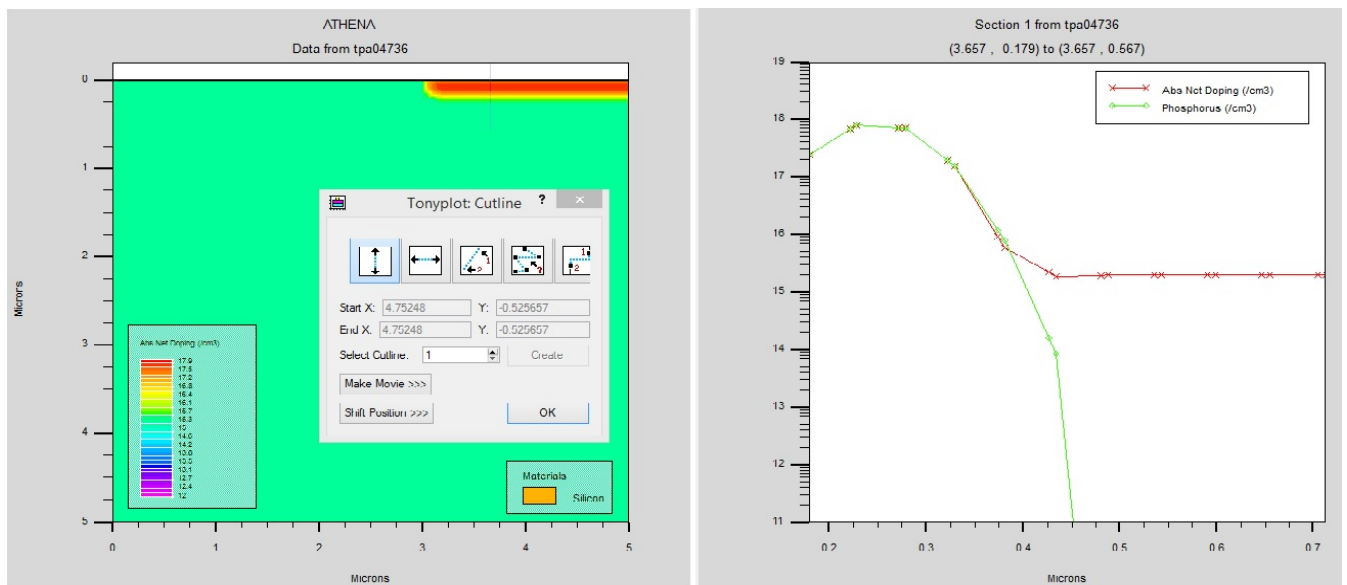


Figure 3.3 : Extraction de dopage avec la fonction cutline.

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

La figure 3.4 et 3.5 présentent, respectivement, le dopage en fonction de la dose (énergie fixe) et le dopage en fonction de l'énergie de l'implantation. Les figures montrent que pour avoir le dopage désiré il faut avoir une énergie de $E=60,59\text{KeV}$ et une dose de $D=9,5 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$.

La Figure 3.6 montre la profondeur de la jonction en fonction de la dose (pour une énergie fixe) et de l'énergie (pour une dose fixe) d'implantations que nous avons extraites par SILVACO.

La figure montre que la profondeur de la jonction est quasi-constante lorsque on fixe l'énergie (dose variable) et augmente avec l'énergie (dose fixe). Nous pouvons expliquer cette observation par la dépendance de la profondeur de jonction de l'énergie d'implantation.

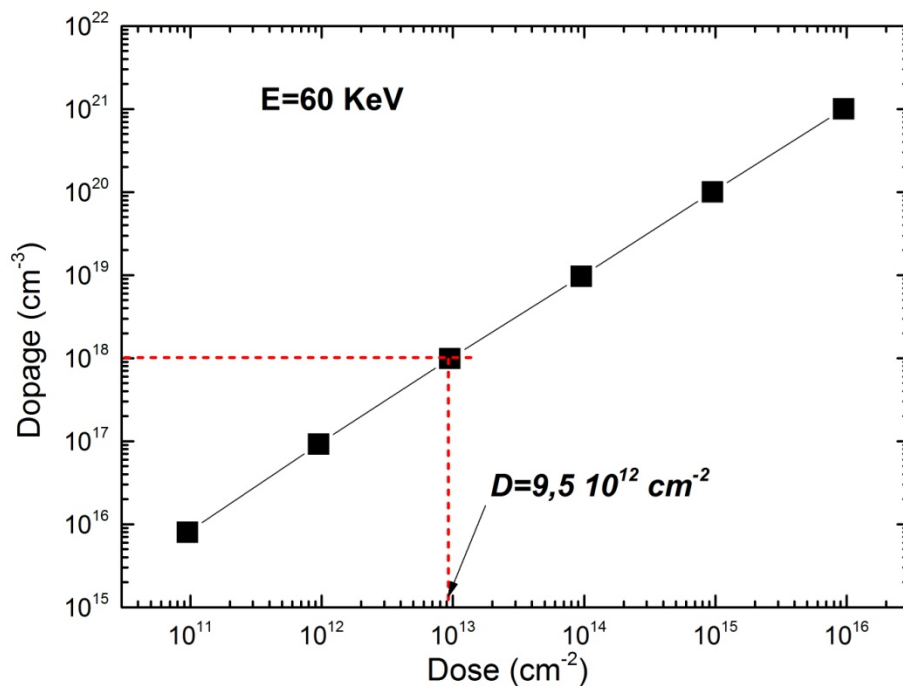


Figure 3.4 : Dopage en fonction de la dose utilisé lors de l'implantation ionique

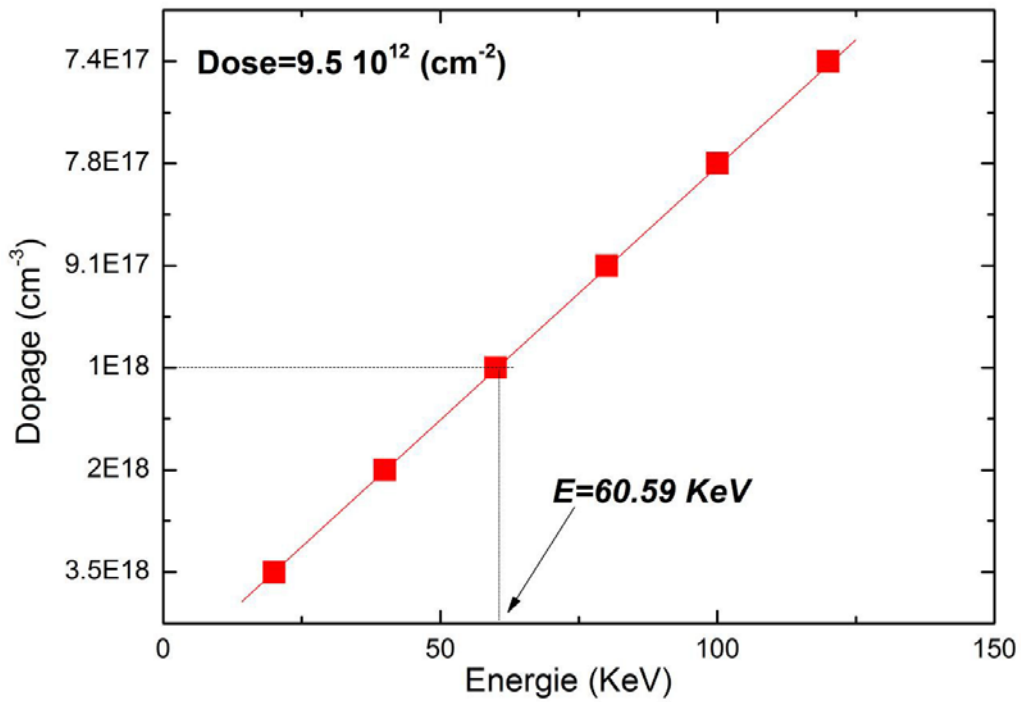


Figure 3.5 : Dopage en fonction de l'énergie de l'implantation ionique

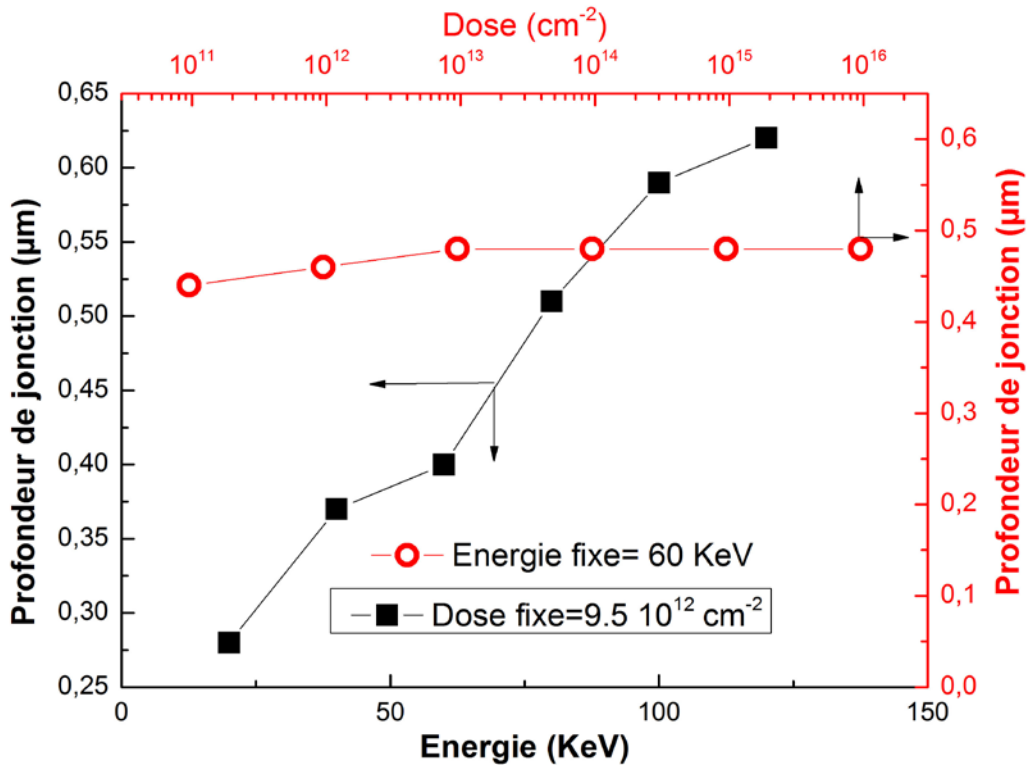


Figure 3.6 : Profondeur de la jonction en fonction de la dose et l'énergie de l'implantation ionique

Sensibilité	13 V/T
Dopage	$10 \text{ E}18 \text{ cm}^{-3}$
Energie	60 KeV
R_H	6.25
Courant I	0.21 mA
V_H	13
B	1000G=1T

Tableau 3.1 : Paramètres de conception du capteur

III-3 Les étapes de la conceptions et simulation de capteur

1- Substrat de type P plus le maillage.

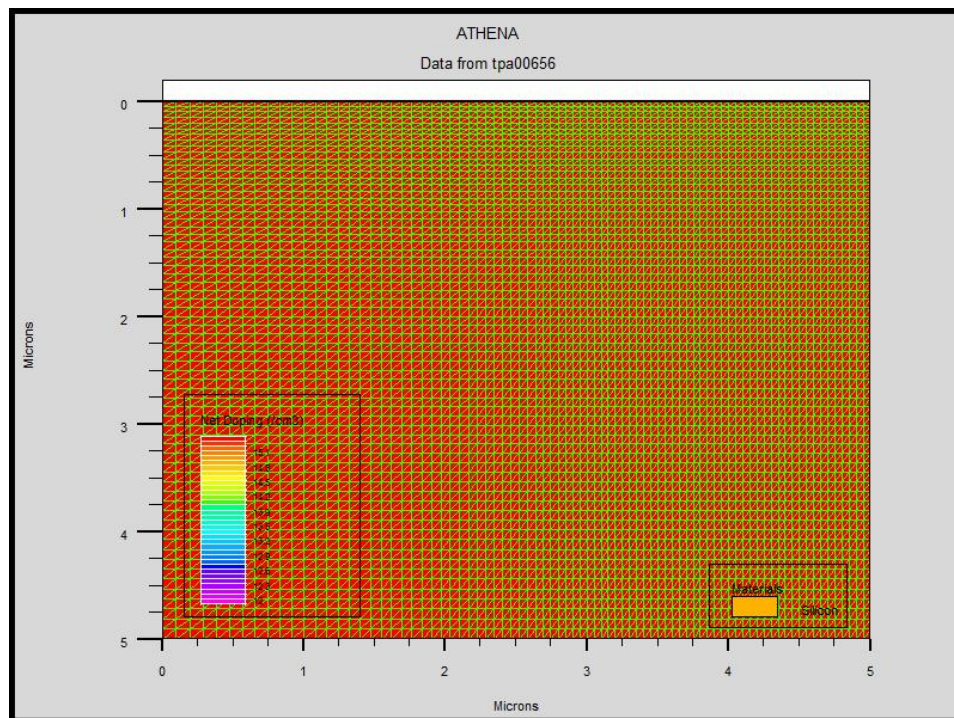


Figure 3.7: Maillage d'un dispositif à deux dimensions.

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

2- Dépôt d'une couche d'oxyde (SiO_2) de 1μ mètre d'épaisseur

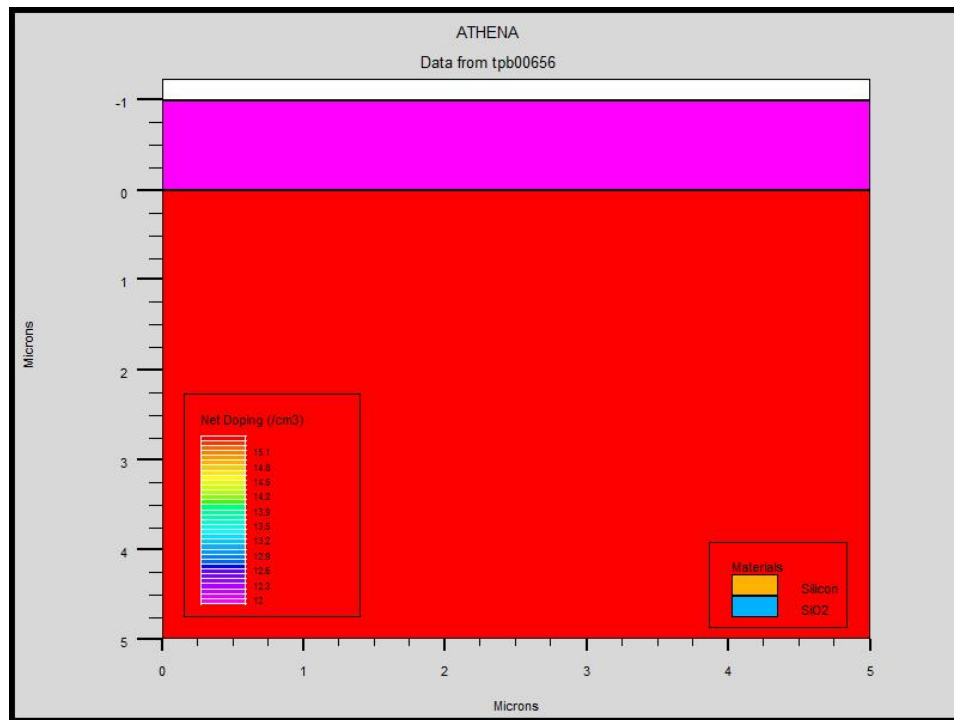


Figure 3.8 : Substrat plus une couche d'oxyde (SiO_2).

3- Gravure de 2μ mètre d'oxyde (SiO_2) à droite

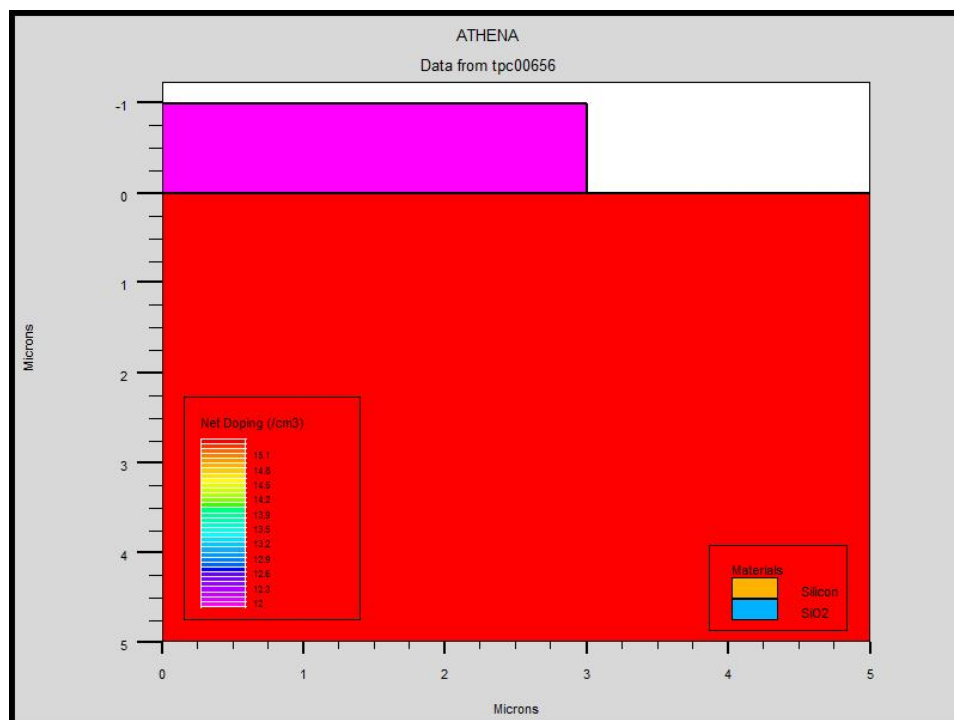


Figure 3.9 : Gravure de l'oxyde (SiO_2).

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

- 4- Dopage au phosphore par implantation ioniques avec une dose de $9,5 \cdot 10^{12}$ et une énergie de 60 KeV et gravure de tout l'oxyde, puis un recuit thermique pendant 1 heure à 330 °C

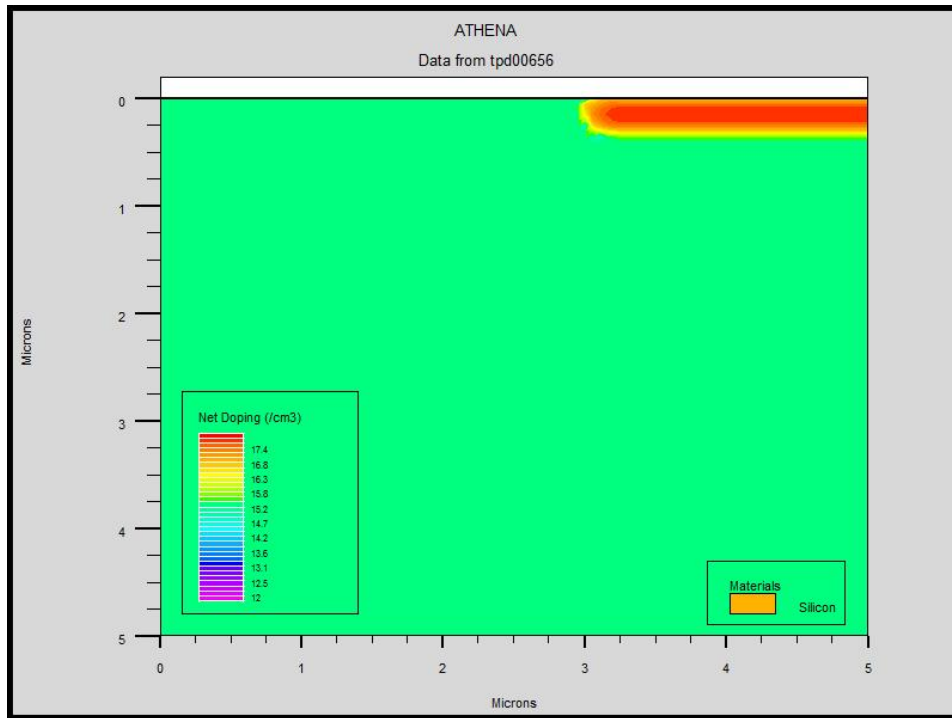


Figure 3.10 : Dopage au phosphore et recuit thermique

- 5- Dépôt d'une couche d'oxyde (SiO_2) 1 μ mètre d'épaisseur

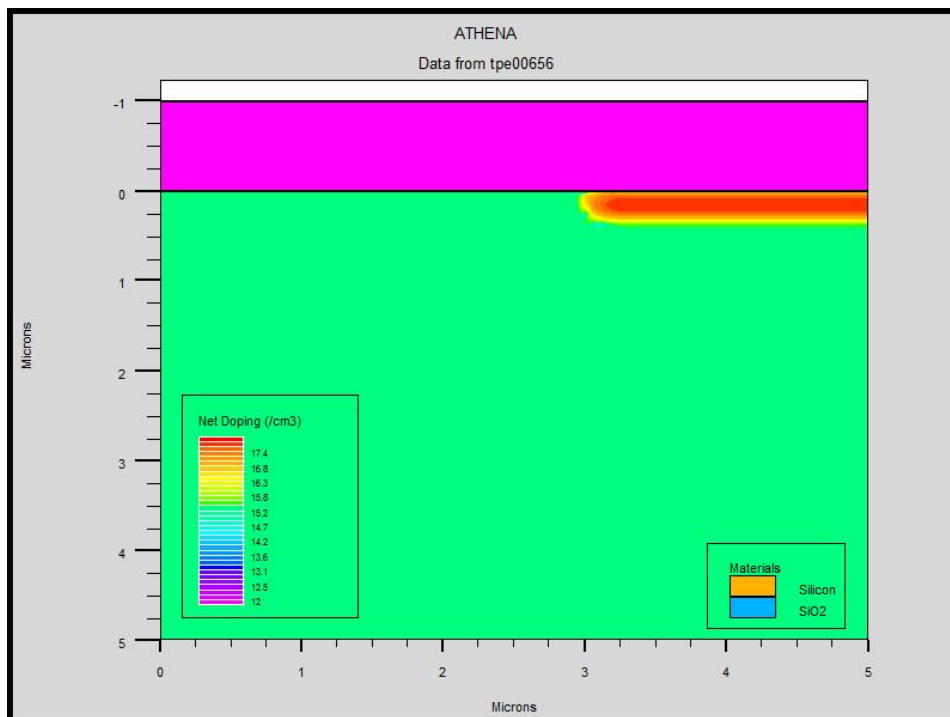


Figure 3.11 : Dépôt d'une couche d'oxyde (SiO_2) .

- 6- Gravure de 2µ mètre d'oxyde à gauche, dopage au Bore par implantation ioniques avec une dose de 10^{14} et une énergie de 50 KeV

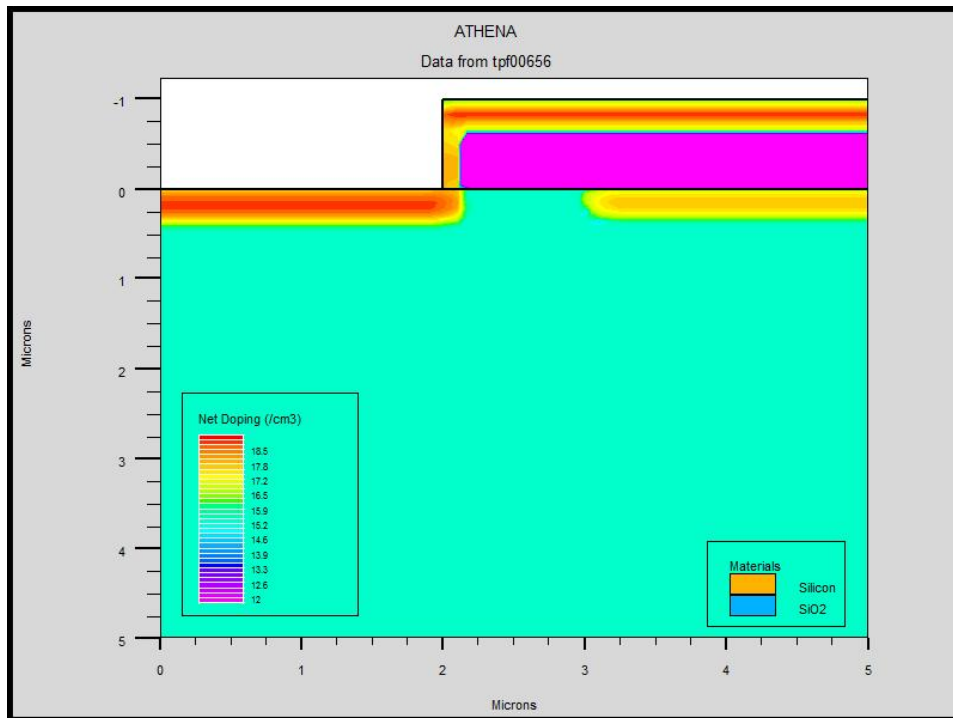


Figure 3.12 : Dopage au bore pour crée le canal stop.

- 7- Gravure de tout l'oxyde puis recuit thermique pendant 1 heure à 100 °C.

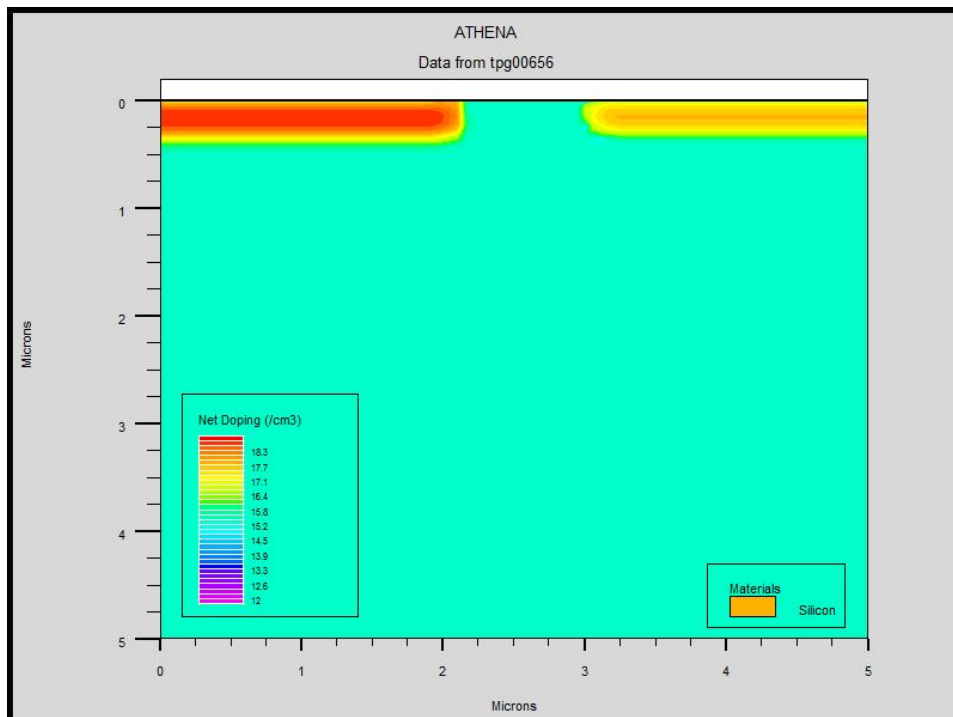


Figure 3.13 : Recuit thermique.

8- Dépôt d'une couche d'oxyde (SiO_2) de 1μ mètre d'épaisseur.

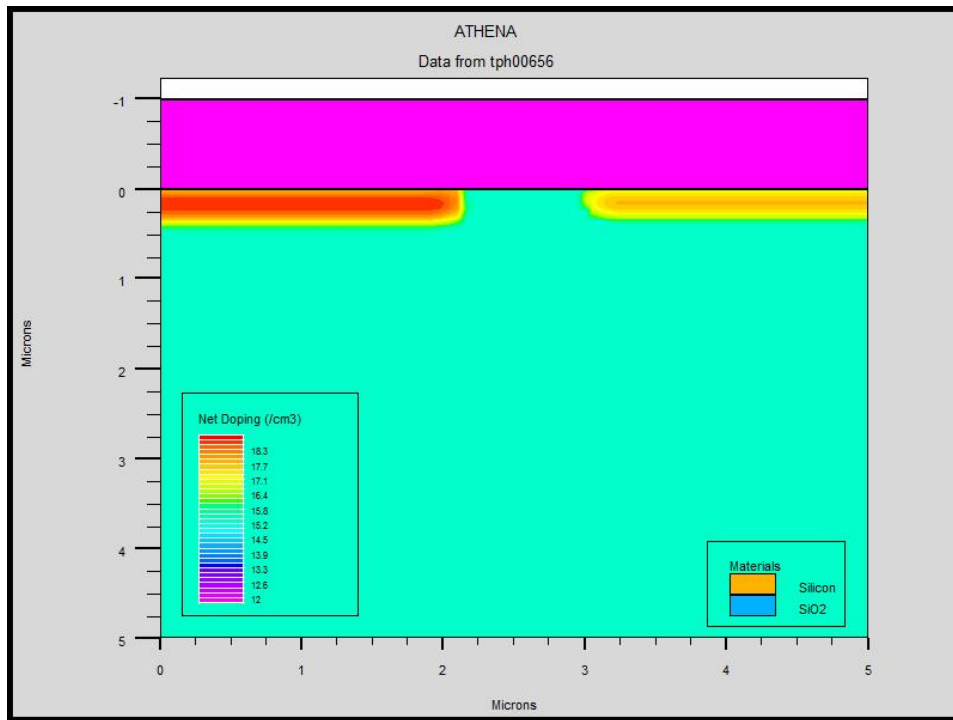


Figure 3.14 : Dépôt d'une couche d'oxyde (SiO_2).

9- Gravure de l'oxyde et dopage au phosphore par implantation ionique avec une dose de 210^{15} cm^{-2} et une énergie de 60 KeV, puis recuit thermique pendant 1 heure à 1000°C

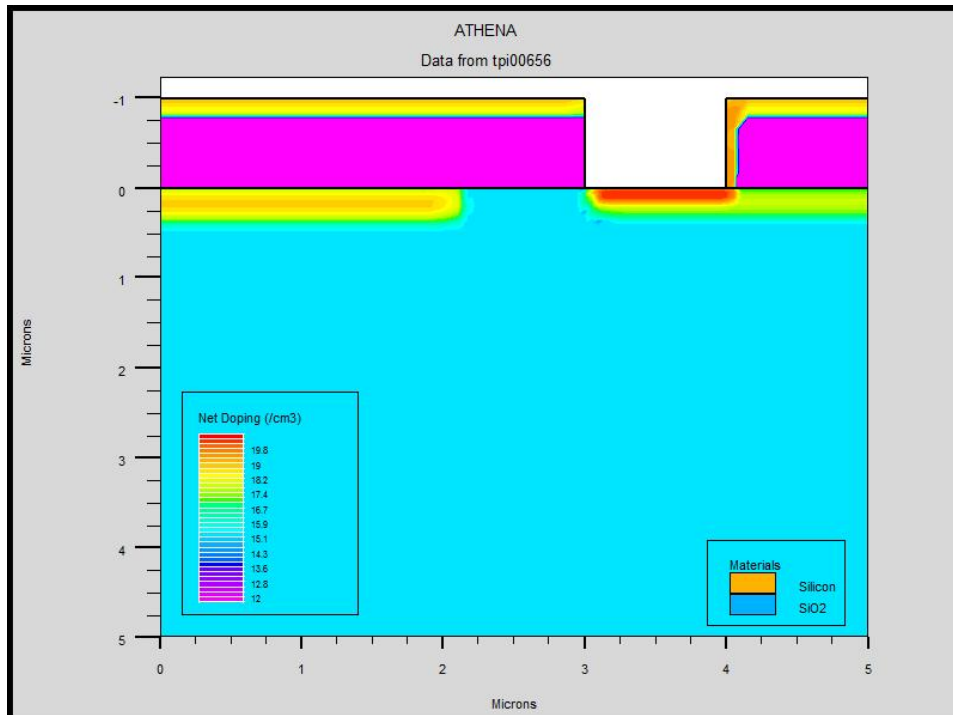


Figure 3.15 : Création des zones N+

10- Dépôt d'une couche d'aluminium de 1 μm d'épaisseur

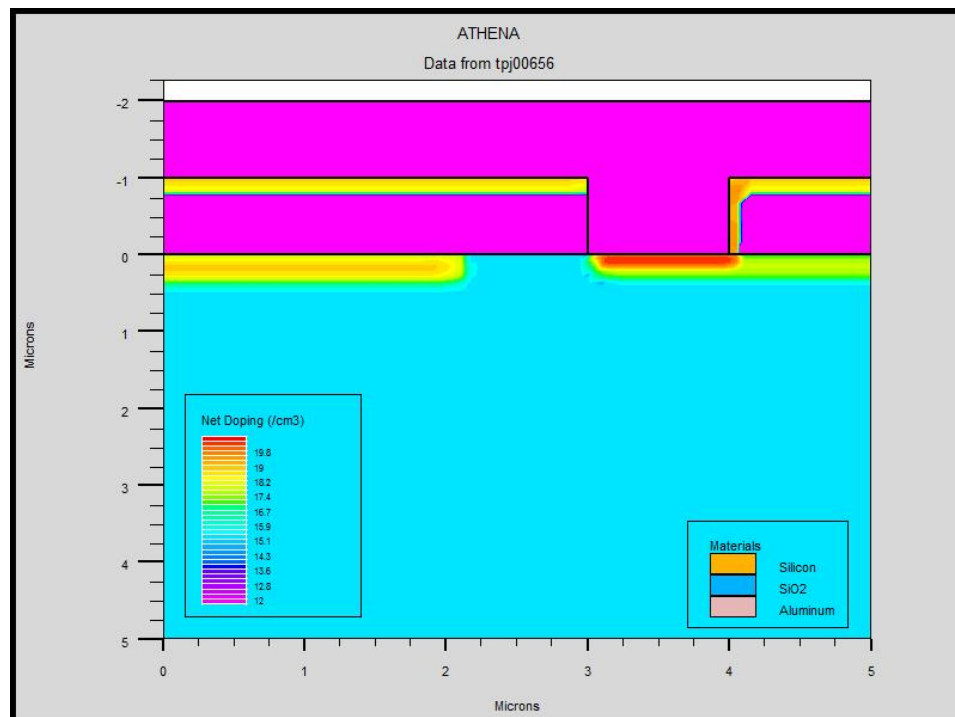


Figure 3.16 : Dépôt d'une couche d'aluminium

11- On applique la structure mémoire pour obtenir la structure complète de notre capteur

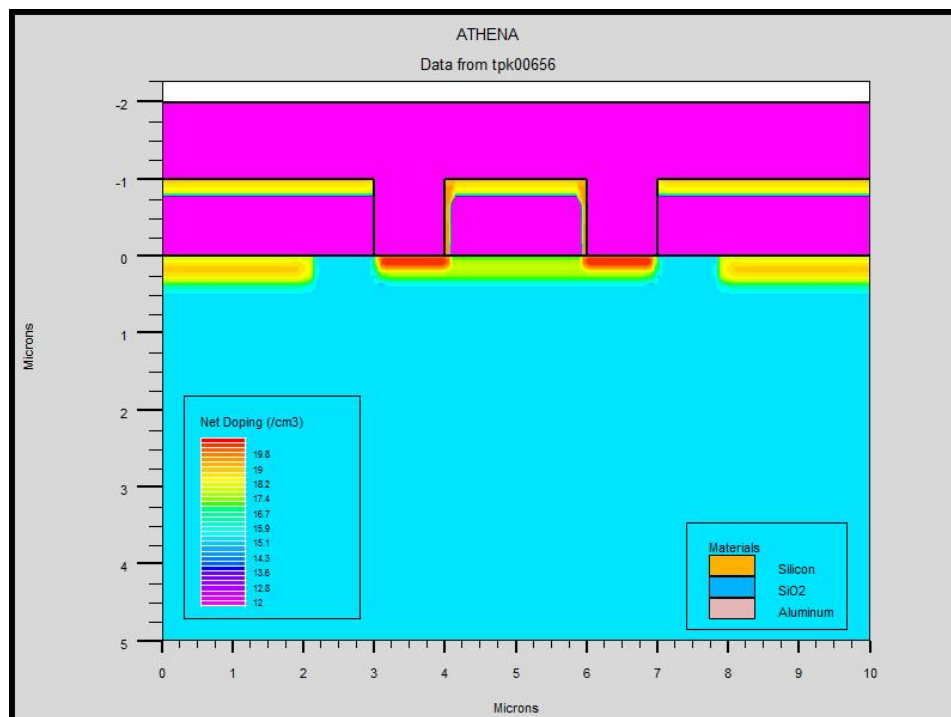


Figure 3.17 : Structure complète du capteur

12- Gravure de l'aluminium pour avoir deux contacts métallique

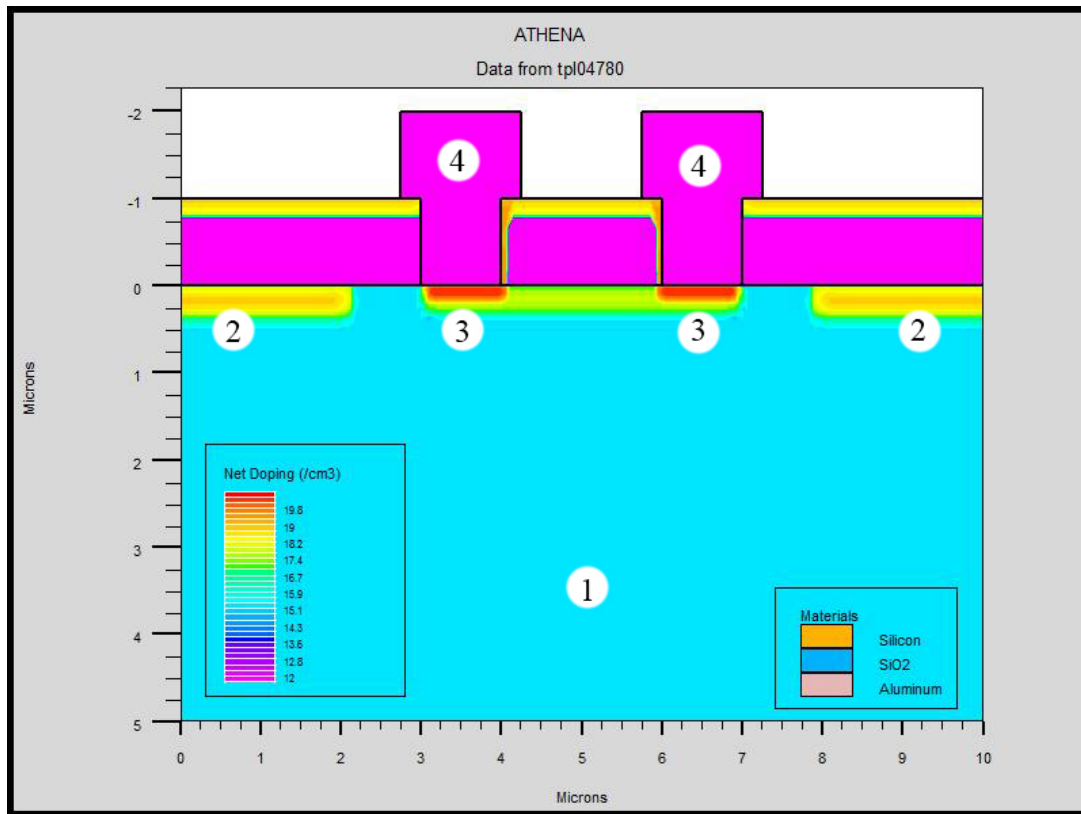


Figure 3.18 : Structure finale du capteur à deux dimensions

La figure 3.18 représente la structure finale du capteur à effet hall montrant les concentrations nettes de dopage à travers le substrat, les parties clés de la conception sont :

- 1 : le substrat de type p.
- 2 : les zones dopé N⁺.
- 3 : canal stop.
- 4 : les contacts métalliques.

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

Après avoir fait notre conception sur SILVACO avec les paramètres qu'on déterminé (dose et énergie) on a utilisé la fonction cutline pour vérifier si on a bien le dopage désiré qui est de 10^{18} cm^{-3} .

La figure 3.19 représente le dopage obtenu après avoir fait la conception sur SILVACO, le résultat correspond au dopage calculé précédemment.

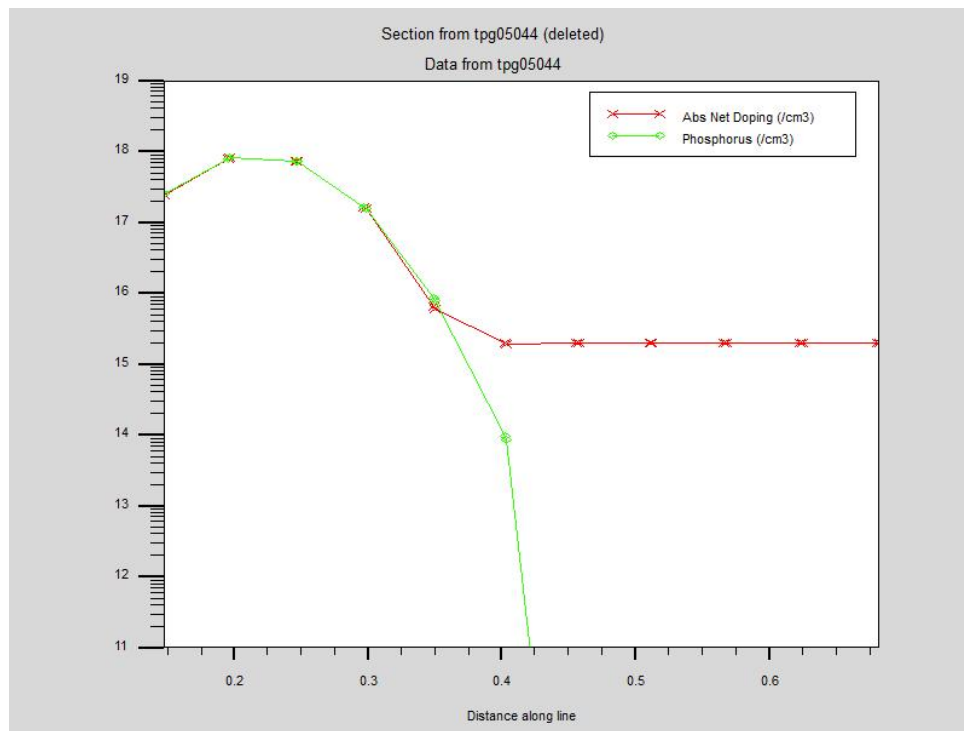


Figure 3.19 : Dopage obtenu après avoir fait la conception

III-4 Dessin du masque avec cadence

III-4-1 Présentation de cadence

Cadence design système a été fondée en 1988. Est un outil de conception complet et complexe. Qui propose un ensemble de logiciels répondant à la quasi-totalité des besoins de la conception et de la simulation a haut niveau et le dessin des masques (layout) ainsi les circuits. Dans le cas de notre travaille on a utilisé Virtuoso pour réalisé le masque du capteur à effet hall qui sera utilisé pour la réalisation de ce dernier, comme il serra utile pour faire la simulation analogique.

III-4-2 Le masque

La figure 3.20 représente le masque (layout) du capteur à effet hall a deux dimension, les contacts **I in** et **I out** représente les contacts du courant entré et sortie respectivement et les

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

contacts **VH** représentent les contacts de tension sur les quelle ont récupère une différence de potentiel en présence d'un champ magnétique appeler tension de hall.

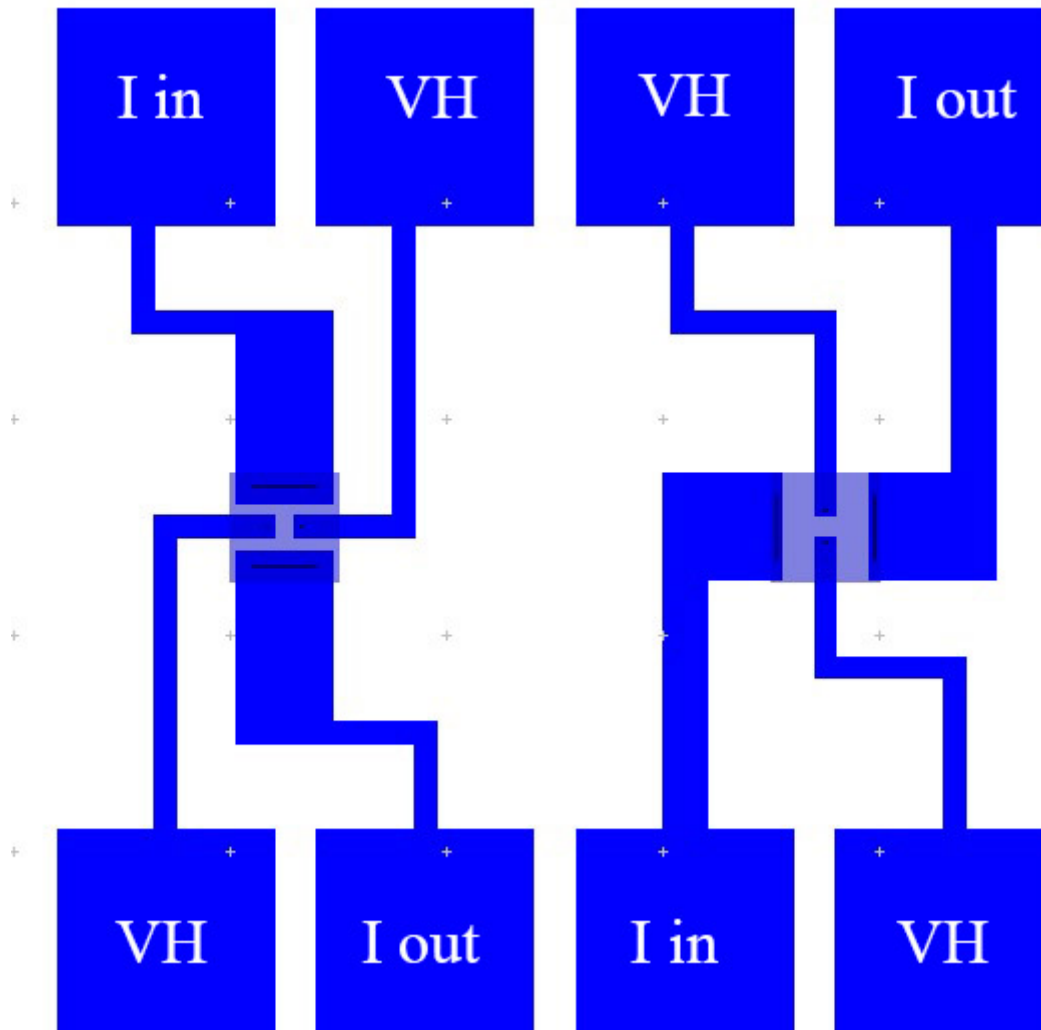


Figure 3.20 : Masque du capteur a effet hall à 2 dimensions sur cadence.

III-4-3 Dimensions du masque

Capteur complet	5mm X 5mm
Zone dopé N	500 μ m X 500 μ m
Contacts de courant	300 μ m X 10 μ m
Contacts de tension	10 μ m X 10 μ m
Contacts métallique (Al)	1mm X 1mm

Tableau 3.2 : Les dimensions du masque

III-4-4 L'objectif de dessin de masque

- Approfondir la connaissance des caractéristiques de capteur à effet hall compatible à la technologie CMOS à partir du dessin de masque.
- Apprendre à utiliser le vérificateur de règles de dessin intégré à Cadence.

Chapitre III : Conception et simulation d'un capteur à effet hall

- Apprendre à utiliser l'extracteur intégré à Cadence qui permet d'extraire les paramètres d'un circuit à partir d'un dessin de masque.

- **III-5 Perspective**

Le travail présenté dans ce chapitre peut être complété par l'étude et la réalisation sur la même puce d'un circuit de lecture (Read –Out) : conditionnement de signal (tension Hall dépendent de champ magnétique). Ce circuit de lecture peut être composé de l'amplificateur, générateurs de courant, compensateur de la variation de la température, convertisseur analogique numérique ...

Conclusion

Après avoir détaillé théoriquement le capteur à effet hall dans le chapitre précédent, dans ce chapitre on a déterminé les paramètres de conception et nous avons simulé les étapes de fabrication de ce capteur par le simulateur Silvaco ainsi le dessin du masque avec le logiciel Cadence.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le but de notre projet de fin d'études de Master en microélectronique est la conception et la simulation d'un capteur à effet Hall avec une technologie de 1µm qui est disponible au CDTA.

Pour aborder ce travail, nous avons fait une étude théorique pour déterminer les paramètres de conception.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la microélectronique, spécifiquement les capteurs à effet Hall.

En termes de perspectives, des points importants pour des ultérieurs travaux seront basés sur :

- Amélioration du programme de simulation pour assurer la convergence dans la résolution des équations qui modulent les phénomènes électrique et physique du capteur
- Circuit de lecture, Read out, amplification et conversion analogique /numérique
- Compensation de température

Enfin, nous souhaitons que notre travail soit d'une grande utilité pour les étudiants tenant à travailler sur les capteurs de champ magnétique.

Bibliographies

Bibliographie

- [1] H. GOUDJI, A. CHABANE " réalisation des capteurs de courant et de tension à effet hall " spécialité électrotechnique option machines électriques Université de Tiziouzou 2011.
- [2] K. HAMMA, S. MAHDJOBI détecteur de champ magnétique mémoire de master spécialité Génie biomédical .université de Tlemcen.
- [3] JOSHUA, R. LOCKE CMOS compatible 3 Axis magnetic Field sensor using hall effect sensor " mémoire de master spécialité en microélectronique, New York 2015.
- [4] GRANGWANG "three dimensional magnetic field sensor in 0,18 μm CMOS technology " mémoire de master spécialité électronique 2012.
- [5] P. POLICHET " Etude des capteurs magnétique "
- [6] F. GAYRA " interfaces sigma-delta avancées pour capteur de champ magnétique micro flux gate " thèse doctorat spécialité dispositifs de l'électronique intégrée .école centrale de Lyon 2007.
- [7] M. BOURKEB " capteur de courant innovant pour des systèmes polyphasés application Génie électrique l'université de Lyon 2014.
- [8] J. PASCAL " système intégré pour la mesure tridimensionnelle de champ magnétique dans un environnement d'imagerie médicale IRM. Application à la correction des signaux ECG perturbés " thèse doctorat spécialité micro et nanoélectronique université de Louis Pasteur Strasbourg 2008.
- [9] F. BAUDOIN ; M. LAVABRE " Capteur et principe physique " Monographie Paris 2010.
- [10] A. CAZARRE, N. NOLHIER, F. MORANCHO, P. AUSTIN, P. CALMON " Initiations à la simulation bidimensionnelle environnement SILVACO " université de Toulouse III 2005.

Annexe

go athena

```
line x loc=0.0      spacing=0.1
line x loc=3        spacing=0.05
line x loc=5        spacing=0.05
```

```
line y loc=0.0      spacing=0.05
line y loc=2        spacing=0.1
line y loc=5        spacing=0.1
```

init silicon c.boron=2e15 orientation=100 two.d

```
tonyplot
deposit oxide thick=1 divisions=6
tonyplot
etch oxide start x=3 y=-1
etch continue x=3 y=1
etch continue x=5 y=1
etch done x=5 y=-1
tonyplot
implantphos dose=9.5e12 energy=60 gauss
```

```
etch all oxide
tonyplot
diffuse time=1 temp=330
```

```
deposit oxide thick=1 divisions=6
tonyplot
etch oxide start x=0.0 y=1
etch continue x=0.0 y=-1
etch continue x=2 y=-1
etch done x=2 y=1
```

```
implant boron dose=1e14 energy=50 gauss
tonyplot
etch all oxide
tonyplot
```

```
deposit oxide thick=1 divisions=6
tonyplot
etch oxide start x=3 y=1
etch continue x=3 y=-1
etch continue x=4 y=-1
etch done x=4 y=1
```

implant phos dose=2e15 energy=60 gauss

```
diffuse time=1 temp=1000
```

```
tonyplot
```

```
deposit alum thick=1 div=1  
tonyplot
```

```
structure mirror right
```

```
tonyplot
```

```
etch alum start x=0 y=2  
etch continue x=0 y=-2  
etch continue x=2.75 y=-2  
etch done x=2.75 y=2
```

```
etch alum start x=7.25 y=2  
etch continue x=7.25 y=-2  
etch continue x=10 y=-2  
etch done x=10 y=2
```

```
etch alum start x=4.25 y=2  
etch continue x=4.25 y=-2  
etch continue x=5.75 y=-2  
etchdone x=5.75 y=2
```

```
tonyplot
```