

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :.....



DOMAINE : SCIENCES TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par:

ZIANI Cherihane ET BRIKEL KhouLOUD Achouak

Intitulé

**L'effet du dopage et de la température sur la
mobilité et la résistivité d'un capteur
de pression piézorésistif**

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. N. GUERMAT	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
M ^{me} . R.CHABANE	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr. A. KAHLOUCHE	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022



REMERCIEMENTS

*Nous remercions avant tout ALLAAH le tout puissant, pour
la volonté,
la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues
années d'étude.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur M^{me} **R. CHABANE**
pour sa collaboration et aussi pour son aide constante.*

*Nous adressons également un merci particulier aux membres du jury qui
nous ont fait l'honneur de juger notre travail.*

*Enfin, nous tenons à adresser nos sincères remerciements à nos familles
pour leur soutien, particulièrement durant cette période.*

Cherihane et khouloud





Dédicaces

Je dédie ce travail :

*A mes chers parents, que dieu vous protège
et vous accorde une longue vie.*

*A mes sœurs, je vous remercie pour
votre amour.*

A toutes mes amies,

*A tous qui ont contribué de près ou de loin
Pour réussir ce projet.*

ZIANI Cherihane



Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail accompagné d'un
profond amour :*

*A ma mère pour son amour, ses
encouragements et ses sacrifices.*

*A mon père pour son soutien, son affection
et la confiance qu'il m'a accordée.*

*A la personne qui m'a soutenue,
ma source de force « Abou Amina »,
je le remercie pour son aide et son encouragement.*

A mon frère Ayoub et mes sœurs Aya, Maïssa et Assil.

A tous ceux que j'aime.

BRIKEL Khouloud Achouak

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
 <u>CHAPITRE I : CAPTEUR DE PRESSION PIEZORESISTIF</u>	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition.....	4
<i>I.2.1 Mesurande.....</i>	<i>4</i>
<i>I.2.2 Capteur.....</i>	<i>4</i>
<i>I.2.3 Chaîne de mesure.....</i>	<i>5</i>
<i>I.2.4 Type de grandeur physique.....</i>	<i>6</i>
I.3 Classification des capteurs.....	6
<i>I.3.1 Capteurs passifs.....</i>	<i>6</i>
<i>I.3.2 Capteurs actifs.....</i>	<i>7</i>
I.4 Quelles sont les caractéristiques d'un capteur ?.....	7
I.5 Capteur de pression piézorésistif.....	7
<i>I.5.1 Nature et propriétés du corps d'épreuve</i>	<i>8</i>
<i>I.5.2 Le transducteur.....</i>	<i>9</i>
<i>I.5.3 La jauge.....</i>	<i>9</i>
I.6 Pont de WHEATSTONE.....	10
<i>I.6. 1 Tension de sortie à vide.....</i>	<i>11</i>
<i>I.6. 2 Tension de sortie en charge.....</i>	<i>11</i>
I.7 Paramètres influent sur la piézorésistivité.....	12
I.8 Conclusion.....	12

**CHAPITRE II: MACRO-MODELISATION D'UN PONT
DERESISTANCES**

II.1	Introduction.....	14
II.2	II.2 Modèles et primitives	14
	<i>II.2.1 Le modèle.....</i>	<i>14</i>
	<i>II.2.2 Les primitives.....</i>	<i>15</i>
II.3	Techniques de modélisation	15
	<i>II.3.1 La macro-modélisation.....</i>	<i>15</i>
II.4	Modélisation d'une résistance	17
II.5	Modélisation d'un demi-pont.....	18
II.6	Modélisation d'un pont.....	21
II.7	Avantage et inconvénient.....	22
II.8	Conclusion	22

**CHAPITRE III: L'EFFET DU DOPAGE ET DE LA TEMPERATURE SUR LA
PIEZORESISTIVITE**

III.1	Introduction.....	24
III.2	Explication théorique de la piézorésistivité de silicium.....	24
III.3	Jauge de déformation à effet résistif et piézorésistif.....	25
III.4	Facteurs d'influence de la piézorésistivité.....	25
	<i>III.4.1 Dopage.....</i>	<i>26</i>
	<i>III.4.2 Température</i>	<i>26</i>
	<i>III.4.3 Effets combinés du dopage et de la température.....</i>	<i>26</i>
III.5	Etude de la mobilité.....	27
III.6	Modèle d'ARORA.....	27
III.7	Résultats de simulation.....	28
	<i>III.7.1 La mobilité.....</i>	<i>28</i>
	<i>III.7.2 La résistivité.....</i>	<i>30</i>
III.8	Conclusion	32
	CONCLUSION GÉNÉRALE	34
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

Table
des
Figures

Table des Figures

<i>Figure I .1</i>	Principe d'un capteur.....	4
<i>Figure I .2</i>	Chaine de mesure d'un capteur.....	5
<i>Figure I .3</i>	schéma de principe d'un capteur de pression.....	7
<i>Figure I .4</i>	schéma synoptique d'un capteur de pression.....	8
<i>Figure I .5</i>	Représentation des quatre piézorésistances.....	9
<i>Figure I .6</i>	Les quatre piézorésistances électriquement connectées en pont de WHEATSTONE..	10
<i>Figure II .1</i>	Méthodologie de base de la macro-modélisation.....	16
<i>Figure II .2</i>	Schéma de montage d'un macro-modèle d'une résistance.....	17
<i>Figure II .3</i>	Schéma du montage d'un macro-modèle "demi-pont".....	18
<i>Figure II .4</i>	Courbes représentatives de la tension V_1 (a), du courant I (b) et de la résistance (c)	19
<i>Figure II .5</i>	Courbes représentatives de la tension V_1 (a), du courant I (b) et de la résistance équivalente du demi-pont (c).....	20
<i>Figure II .6</i>	Schéma du montage du macro-modèle "pont de résistances".....	21
<i>Figure II .7</i>	Courbe représentative de la tension de sortie d'un pont équilibré.....	21
<i>Figure II .8</i>	Montage représentatif d'un pont à 4 résistances.....	22
<i>Figure III .1</i>	Schéma de principe du positionnement des jauges piézorésistives	25
<i>Figure III .2</i>	Schéma de simulation d'un capteur de pression par PSpice.....	28
<i>Figure III .3</i>	Evolution de la mobilité en fonction du dopage pour plusieurs de valeurs température	29
<i>Figure III.4</i>	Schéma de simulation environnement PSpice	29
<i>Figure III .5</i>	Evolution de la mobilité en fonction de la température pour plusieurs la valeurs du dopage.....	30
<i>Figure III .6</i>	Schéma de simulation environnement PSpice.....	30
<i>Figure III .7</i>	Evolution de la résistivité en fonction de la température pour la variation du dopage.	31
<i>Figure III .8</i>	Schéma de simulation environnement pspice.....	31
<i>Figure III .9</i>	Evolution de la résistivité en fonction du dopage pour la variation de la température..	32

Introduction

Générale

Introduction Générale

Les capteurs sont largement utilisés dans plusieurs domaines (santé, automobile, électromagnétisme, ...), et sont employés dans la vie de tous les jours pour transformer des événements mécaniques, chimiques ou thermiques en signal électrique [1]. Ils sont utilisés comme systèmes de détections de grandeur physiques qui relèvent la technologie microélectronique, et plus particulièrement celle du silicium, et offrent des avantages techniques et économiques [2]. Les détections piézorésistive et capacitive sont parmi les principes de détection les plus utilisées.

Les capteurs piézorésistifs forment la majorité des capteurs de pression disponibles sur le marché. Ces composants sont extrêmement sensibles à la température et ne peuvent fonctionner correctement sans l'addition de circuits de compensation onéreux [3], c'est pourquoi, depuis plusieurs années, les recherches s'orientent vers les capteurs de pression résistifs, qui sont caractérisés par une grande sensibilité à la pression, une fabrication en grande série, une petite taille, une faible consommation et une connexion facile avec les circuits intégrés [4].

Comme le processus de fabrication de ces capteurs est très onéreux, nous entamons notre étude par une simulation de ces dispositifs afin de déterminer l'effet de l'influence de chaque paramètre sur leur réponse. Ceci nous permet d'optimisation leur réponse en vue de réaliser des macromodélisations de hautes performances.

Notre travail s'insère dans ce cadre, puisqu'il consiste en l'étude du comportement mécanique de capteurs de pression résistifs au silicium par une modélisation de l'effet du dopage et de la température sur la piézorésistance. Les travaux présentés dans ce mémoire apportent une contribution à la macromodélisation comportementale utilisant PSPICE-ORCAD

Les travaux effectués dans ce mémoire sont synthétisés comme suit :

Le premier chapitre consiste en une étude les généralités des capteurs de pression, en décrivant leurs performances, leur technique de conception et de fabrication.

Dans le deuxième chapitre, nous commençons par la description théorique de la macro-modélisation. Et de faire des macro-modélisations d'une résistance, d'un demi-pont et d'un pont de résistances.

Dans le troisième chapitre, nous étudions le capteur de pression résistif, nous utilisons la modélisation comportementale du circuit électrique équivalent de ce capteur en

Introduction Générale

utilisant le logiciel PSpice. Cette simulation nous a permis d'évaluer ses performances dans un environnement électrique, nous présentons une approche théorique basée sur un modèle de mobilité ARORA, l'objet est d'analyser la mobilité en fonction de la température et du dopage.

A la fin, nous terminerons par une conclusion générale où on récapitule tous les résultats obtenus dans ce modeste travail.

Chapitre I

Capteurs de Pression

Piézorésistifs

CHAPITRE I :**CAPTEUR DE PRESSION PIEZORESISTIF****I.1 Introduction**

Le capteur est considéré comme le premier élément d'une chaîne de mesure. Sa fonction de base est de convertir une grandeur physique en une autre grandeur électrique générale. Généralement, il s'agit d'un appareil chargé de convertir une grandeur physique à mesurer en une grandeur utilisable. Ce type de capteur occupe la place la plus importante dans la plupart des applications industrielles modernes et continue de croître et de dominer le marché des capteurs en raison de sa grande variété et de sa facilité de mise en œuvre.

I.2. Définitions***I.2.1 Mesurande***

C'est la grandeur physique que l'on souhaite connaître.

I.2.2 Capteur

C'est l'élément qui va permettre sous l'effet du mesurande d'en délivrer une image exploitable (signal électrique par exemple).

On parle aussi de transducteur, la grandeur physique d'entrée (le mesurande) étant transformée en une autre grandeur physique de sortie ou en un signal électrique [5].

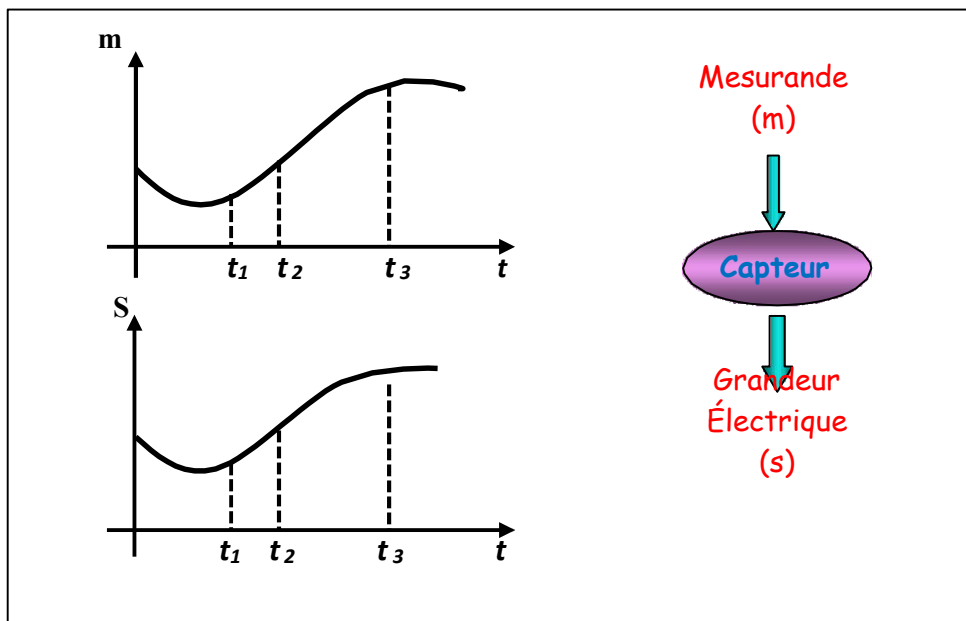


Figure I.1 : Principe d'un capteur

Généralement, on obtient une grandeur de sortie du type électrique. Elle peut être soit :

- une charge,
- une tension,
- un courant,
- une impédance (R, L, C).[5]

I.2.3 Chaîne de mesure

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, on fait appel à une chaîne de mesure qui peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents. Par exemple, la mesure d'un débit peut se faire en plusieurs étapes :

- transformation du débit en une pression différentielle,
- transformation de la pression différentielle en la déformation mécanique d'une membrane,
- transformation de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézo-électrique) via un circuit électronique associé.

L'ensemble de ces étapes constitue la chaîne de mesure.

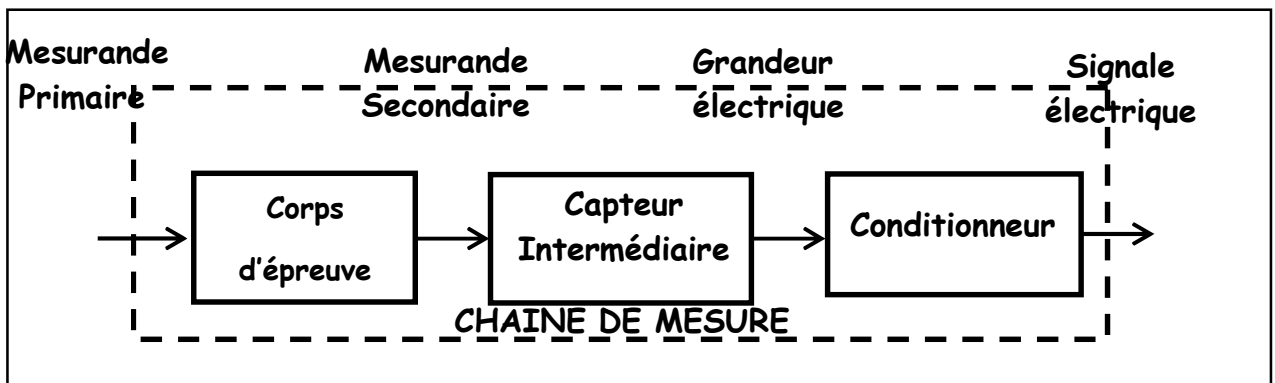


Figure I.2 : Chaîne de mesure d'un capteur

De manière classique, la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique. Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande. Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable. Le choix de ce conditionneur est une étape importante dans le cadre de la chaîne de mesure car, associé au

capteur, il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure. [5]

1.2.4. Type de grandeur physique

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles :

- ❖ Mécanique : déplacement, force, masse, débit, etc...
- ❖ Thermique : température, capacité thermique, flux thermique, etc...
- ❖ Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique, etc...
- ❖ Magnétique : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique, etc...
- ❖ Radiatif : lumière visible, rayons X, micro-ondes, etc...
- ❖ (Bio)Chimique : humidité, gaz, sucre, hormone, etc...[5]

1.3. Classification des capteurs

On classifie les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie. Cette classification influe sur le conditionneur qui lui est associé. [6]

1.3.1. Capteurs passifs

Le capteur se comporte en sortie comme un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif. Le tableau ci-dessous résume, en fonction du mesurande, les effets utilisés pour réaliser la mesure.

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Type de matériaux utilisés
Température	Résistivité [ρ]	Métaux : Pt, Ni, Cu Semi-conducteur
Très basse T	Constante diélectrique [ϵ]	verre
Flux lumineux	Résistivité [ρ]	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité [ρ] Perméabilité magnétique [μ]	Alliage de Ni, Si dopé Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité [ρ]	Matériaux Magnétorésistant
Humidité	Résistivité [ρ] Constant diélectrique [ϵ]	Chlorure de lithium Alumine ; polymère
Niveau	Constante diélectrique [ϵ]	Liquide isolants

Tableau I.1 : Différents capteurs passifs

I.3.2 Capteurs actifs

Dans ce cas, la sortie du capteur est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge. Les principes physiques mis en jeu sont présentés ci-dessous :

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité Pyroélectricité	Tension Charge
Flux lumineux	Photoémission Effet photovoltaïque Effet photoélectromagnétique	Courant Tension Tension
Force Pression Accélération	Piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction magnétique	Tension
Position	Effet Hall	Tension

Tableau I.2 : Différents capteurs actifs

I.4. Les caractéristiques d'un capteur

- *Etendue de mesure* : Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.
- *Résolution* : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- *Sensibilité* : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- *Précision* : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.
- *Rapidité* : Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- *Linéarité* : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.[5]

I.5. Capteur de pression piézorésistif

De façon générale, un capteur (exemple de pression piézorésistif) est un ensemble constitué d'un corps d'épreuve et une surface sur laquelle sont implantées une ou plusieurs jauges de contraintes dont le principe est décrit par la figure I.3[5]:



Figure I. 3: Schéma de principe d'un capteur de pression

Une différence de pression appliquée entre les faces supérieures et inférieures du capteur engendre l'apparition d'une déformation au sein du corps d'épreuve. Cette déformation est transférée par l'intermédiaire de la couche isolante vers le transducteur puis convertit par effet piézorésistif en une variation de résistance des jauges. On recueille en sortie une tension électrique proportionnelle à la tension appliquée.[7]

Capteur de pression piézo-résistif

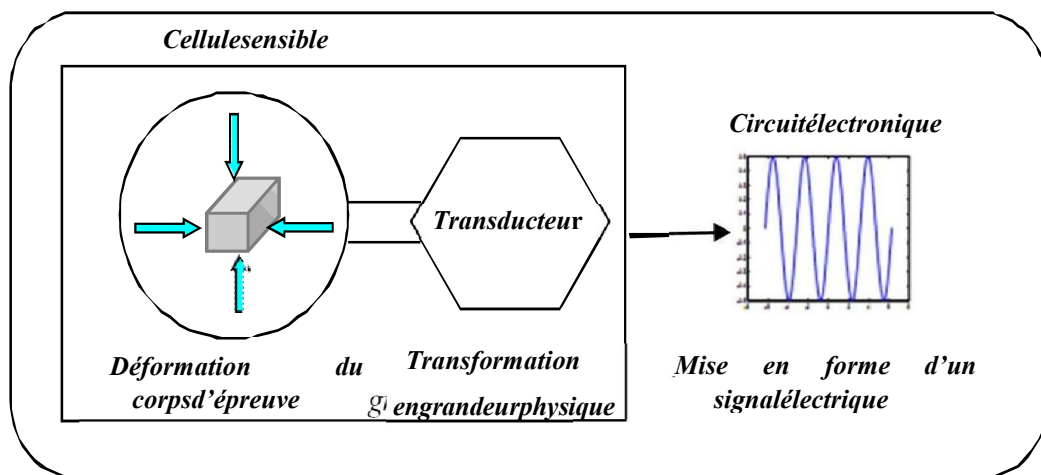


Figure I.4: Schéma synoptique d'un capteur de pression

Le corps d'épreuve du capteur de pression considéré est composé d'une membrane micro-usinée dans une plaquette de silicium. Cette membrane est soudée sur un substrat rigide en pyrex.[8]

1.5.1 Nature et propriétés du corps d'épreuve

Sa forme dépend principalement de l'application visée, mais aussi de la nature et de l'amplitude de la pression à mesurer. Le corps d'épreuve joue un rôle purement mécanique. Le choix du matériau qui le constitue est essentiellement établi à partir des critères suivants :

- ❖ Rigidité ;
- ❖ Contrainte de limite élastique ;
- ❖ Résistance à la fatigue ;
- ❖ Homogénéité ;
- ❖ Dilatation thermique ;
- ❖ Résistances aux agents chimiques..... etc.

Ces grandeurs conditionnent principalement la sensibilité, la plage d'utilisation en pression, la durée de vie, la stabilité et la précision du capteur.[8]

1.5.2 Le transducteur

Il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie. Les principales qualités du transducteur sont :

- Une forte sensibilité à la grandeur mécanique à mesurer ;
- Une faible sensibilité aux grandeurs d'influence (température, hygrométrie, vibration...etc).

Il existe de nombreux dispositifs pour convertir une grandeur électrique ; les plus usuels sont : les résistances variables, les capacités variables, les inductances variables, les oscillateurs et les éléments piézoélectriques.[9]

1.5.3 La jauge

Dans les capteurs piézorésistifs, l'élément sensible à la pression est la jauge. C'est l'organe qui assure la conversion du signal mécanique appliqué au corps d'épreuve (déformation) à un signal électrique en sortie du pont. En effet, le type et le niveau de la réponse électrique attendue, lors de l'application d'une pression P sur la membrane, sera en fonction de la position qu'occupera la jauge sur cette dernière, en fonction du type et de la concentration des dopants qui y sont introduits.[10]

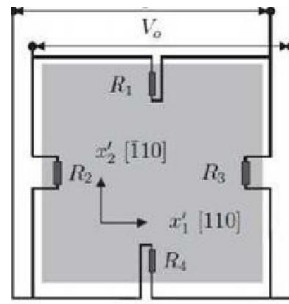


Figure 1.5: Représentation des quatre piézo-résistances

La figure ci-dessus représente les quatre piézo-résistances implantées à la surface de la membrane de Silicium et connectées en pont de WHEATSTONE.

❖ *Expression de la variation de la résistance :*

Considérons une jauge représentée par la figure I.5. Sous l'influence du champ électrique appliqué parallèlement à sa longueur, et soumise à une pression P, la variation relative de la résistance s'écrit :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta S}{S}$$

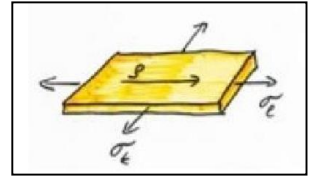
où : L et S représentent respectivement la longueur et la surface de la jauge.

représente sa résistivité.

Certains matériaux présentent une dépendance de leur résistivité électrique ρ et les contraintes mécaniques appliquées, longitudinalement σ_l et transversalement σ_t à la direction de circulation du courant électrique.

Dans ce cas, la variation relative de la résistivité s'écrit comme suit :

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_0} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t$$



avec : π_l et π_t sont les constantes de piézo-résistivité longitudinale et transversale, respectivement.[11]

I.6 Pont de WHEATSTONE

La filière explorée dans cette étude se base sur la fabrication d'une membrane à la surface de laquelle sont implantées quatre résistances électriquement connectées en pont de WHEATSTONE (figure I.6). L'application d'une pression provoque des contraintes internes dans la membrane, ce qui modifie, à son tour, la valeur de chacune des quatre résistances. La sensibilité d'une telle structure dépend de la position des résistances et de leurs dopages. Quant à l'existence de la tension d'offset, elle peut être due à de multiples facteurs .[12]

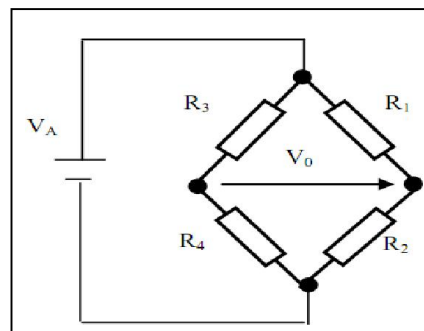


Figure I.6 : Les quatre piézorésistances électriquement connectées en pont de WHEATSTONE

1.6.1 Tension de sortie à vide :

En utilisant les équations générales de l'électricité, et si aucun phénomène physique ne vient perturber la variation intrinsèque de la résistance des jauges, la tension de sortie du pont à vide V_0 s'exprime de la manière suivante :

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right] V_e$$

En général, le pont est implanté sur le corps d'épreuve de manière à créer une symétrie de fonctionnement, dans ce cas, les jauges opposées possèdent la même valeur de résistance.

Donc, la relation devient :

$$V_0 = \left[\frac{R_1 - R_4}{R_1 + R_4} \right] V_e$$

Pour : $R_1 = R_3$ et $R_2 = R_4$

Cette valeur de tension est dite tension d'offset, sa valeur est nulle dans le cas où les jauges sont parfaitement identiques et on dira que le pont est en équilibre.[13]

1.6.2 Tension de sortie en charge

Lorsqu'un phénomène physique extérieur, tel que la pression, vient perturber la valeur des résistances des jauges, un déséquilibre apparaît en sortie du pont sous la forme :

$$V_0 = \left[\frac{R_1 \left(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1}\right) - R_4 \left(1 + \frac{\Delta R_4}{R_4}\right)}{R_1 \left(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1}\right) + R_4 \left(1 + \frac{\Delta R_4}{R_4}\right)} \right] V_e$$

Généralement, la variation relative de la résistance ne dépasse pas quelques pourcentages de sa valeur. De plus, si on suppose que les jauges sont parfaitement appariées, on peut écrire en première approximation :

$$V_0 = \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \frac{V_e}{2}$$

Cette relation permet de mettre en évidence les avantages du pont suivants :

- ✓ linéarité de la réponse du pont ;
- ✓ réjection de la tension d'alimentation car le signal de sortie est en général faible par rapport à la tension d'alimentation ;
- ✓ compensation de tout phénomène parasite pouvant intervenir dans la structure (dérive thermique des résistances, contrainte thermique sur les jauges...etc).[13]

I.7 Paramètres influent sur la piézorésistivité

Le cas idéal d'un capteur de pression piézorésistif consiste en l'utilisation de quatre jauges de type P, de valeur égale, montées en pont de WHEATSTONE. La loi de variation en température de chacune des piézorésistances s'écrit sous la forme suivante [14] :

$$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2)$$

Avec : $\Delta T = T - T_0$

Où :

α et β : représentent respectivement les coefficients de température du premier et du second ordre.

$R(T_0)$: est la valeur de la piézorésistance à une température de référence T_0 .

En effet, il serait intéressant de déterminer les plages de températures relatives à l'influence de chaque coefficient en tenant compte du comportement des résistances.

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé l'essentiel des travaux effectués dans la domaine des capteurs. Au début, nous avons présenté des généralités sur les capteurs de pression, puis détaillons les capteurs les plus couramment utilisés, tels que le capteur de piézorésistif

Chapitre II

Macro-modélisation d'un Pont de Résistances

Chapitre II

Macro-modélisation d'un Pont de Résistances

II.1 Introduction

La validation d'un système électronique, qu'il soit intégré sur une puce ou réalisé sous forme de cartes, est encore essentiellement basée sur des logiciels de simulation. Ceux-ci font appel à des modèles des différents éléments utilisés, qui en décrivent le comportement, c'est à dire les relations entre les signaux présents sur les points d'entrée/sortie (E/S). Ainsi, lors de la conception de circuits intégrés tels qu'un amplificateur opérationnel, une porte logique, des modèles de composants (transistors, diodes, résistances, capacités,...) sont utilisés par un simulateur électrique, dit analogique (le programme PSpice est sans doute le plus connu). Ces modèles décrivent les relations macroscopiques entre tensions et courants des diverses bornes, sous forme d'équations différentielles. Il s'agit donc d'une représentation mathématique de phénomènes physiques auxquels obéissent les composants. Il existe deux approches permettant d'obtenir des modèles plus ou moins précis d'un composant ou d'une fonction électronique :

◆ L'approche physique consiste à utiliser les modèles créés par les concepteurs de circuit intégrés et de modifier uniquement les paramètres. Cette approche peut être définie à partir de paramètres électriques (calculés à partir de mesures statiques, dynamiques, fréquentielles) ou à partir de paramètres technologiques caractéristiques du processus de fabrication et de la géométrie du composant.

◆ L'approche comportementale consiste à modéliser un composant ou un circuit par l'évolution de ses entrées/sorties en réponse à différents stimuli [15].

II.2 Modèles et primitives

II.2.1. Le modèle

Le modèle d'un système est une représentation de son comportement à l'aide de laquelle le simulateur comprend et procède à des calculs. Un modèle doit être le plus fidèle et le plus exact possible, c'est le plus important critère de la modélisation. Mais écrire un modèle exact est la tâche la plus difficile.

II.2.2. Les primitives

Tous les simulateurs analogiques proposent aux utilisateurs un jeu de composants de base permettant de décrire la topologie d'un circuit électrique. Ces éléments de base sont appelés les primitives du simulateur. Ces composants sont, entre autre, les éléments actifs diodes, les transistors (bipolaire, MOS, JFET), les éléments passifs comme les résistances, les capacités, les inductances et les sources de courant et de tension (Gvalue, Evalue...etc). Ce sont des éléments idéaux qui permettent d'exprimer facilement des relations mathématiques entre tensions et courants dans le domaine fréquentiel ou temporel.

Cependant, chaque simulateur possède sa propre syntaxe, ce qui freine l'utilisation de ces fonctions si le but est l'échange des macro-modèles[16].

II.3. Techniques de modélisation

Nous pouvons distinguer principalement trois techniques de modélisation qui sont :

- Modélisation structurelle
- Modélisation comportementale
- Macromodélisation

On intéresser beaucoup plus à la macromodélisation.

II.3.1. La macro-modélisation

a. Définition

Le terme de macromodélisation est couramment employé en analogique. Il désigne en fait une méthode particulière de modélisation comportementale qui consiste en une simplification du schéma et, essentiellement, en l'utilisation de sources idéales contrôlées, proposées par les simulateurs de type SPICE, pour exprimer des relations entre tensions et courants. Cette approche est cependant assez limitée aux primitives du simulateur, introduit des effets parasites et peut poser des difficultés de convergence [17].

Un macro-modèle est une représentation simplifiée, mais précise, d'un circuit ou d'un système à un niveau d'abstraction donné. Il est usuellement basé sur la topologie ou la structure du circuit original, mais comporte beaucoup moins de composants car il modélise principalement les caractéristiques vues de l'extérieur du circuit.

b. Objectif de la macro-modélisation

La macro-modélisation consiste à décrire le comportement d'un circuit par l'utilisation des primitives d'un simulateur. Le but essentiel de la macro-modélisation est de réduire la taille du circuit et ainsi réduire le temps de simulation. En outre, il faut prendre garde à ce que le nombre de nœuds imposé par le macro-modèle ne dépasse pas celui qu'impose le circuit à modéliser, sinon il n'aura aucun profit sur l'encombrement et la taille des matrices générées. Alors, les modèles obtenus par cette approche permettent de réduire considérablement le temps de simulations [18].

De plus, l'objectif principal de la macro-modélisation est de remplacer un système électronique ou une partie de ce système (une fonction ou un dispositif actif) par un modèle afin de réduire significativement le temps requis par les nombreuses simulations électriques effectuées en phase de conception. Pour ce faire, un macro-modèle doit répondre à deux exigences conflictuelles: il doit être structurellement le plus simple possible et en même temps simuler le comportement du circuit avec le maximum de précision.

Les macro-modèles sont construits à partir d'un nombre réduit de composants idéaux. Les composants utilisés sont des composants primitifs de *PSPICE*. Nous pouvons inclure des éléments passifs (résistance, capacité, etc.), des sources dépendantes et indépendantes, et des modèles non linéaires comme les diodes, les transistors bipolaires et les transistors qui sont intégrés dans le module ABM (AnalogBehavioralModeling) du logiciel *PSPICE* [16].

La méthode de macro-modélisation consiste à utiliser trois blocs de base composés comme illustre la figure II.1 :

1. Un étage d'entrée pour implanter l'impédance d'entrée,
2. Un étage correspondant à la fonction principale (fonction de transfert du circuit),
3. Un étage de sortie pour implanter l'impédance de sortie.

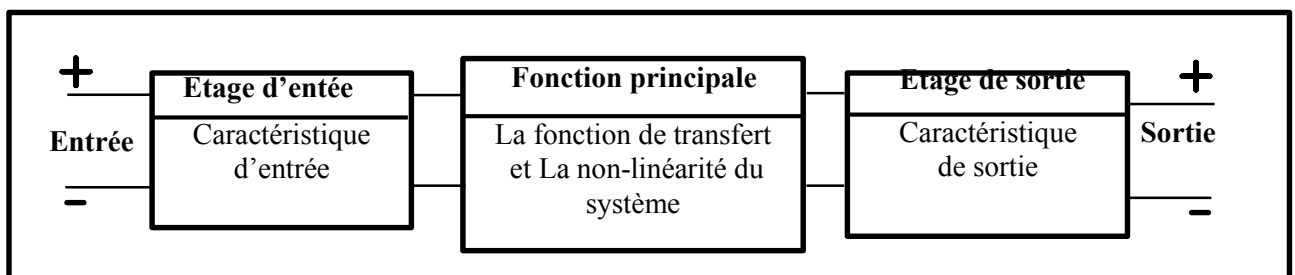


Figure II.1 : Méthodologie de base de la macro-modélisation

Les sources contrôlées (sources dépendantes) sont des éléments idéaux qui permettent d'exprimer des relations mathématiques entre les courants et les tensions. Il est possible de définir grâce à l'outil ABM de nombreuses équations non linéaires pour un courant ou une tension à partir de deux primitives : EVALUE (Source de tension contrôlée) et GVALUE (Source de courant contrôlée), sous la forme suivante [18]:

$$1/ \text{Ename N+ N- VALUE} = \{\text{control expression}\}$$

$$2/ \text{Gname N+ N- VALUE} = \{\text{control expression}\}$$

Les composants comportementaux utilisés dans notre travail sont les primitives *EVALUE*, qui sont des sources de tension contrôlées disponibles dans la bibliothèque (*ABM*) du simulateur *PSPICE*. Tenant compte de l'expression analytique de la résistance, le modèle sera représenté par un agencement de nombres primitifs *EVALUE* associés pour délivrer en sortie une tension qui modélise une résistance linéaire, un demi-pont et un pont de résistances[19].

II.4 Modélisation d'une résistance :

Le macro-modèle représentatif d'une résistance est une source V_1 qui délivre une tension V_2 insérée dans le modèle sert à calculer le courant I qui traverse la résistance. Ce macro-modèle est schématisé par le montage fonctionnel représenté dans la figure ci-dessous[20] :

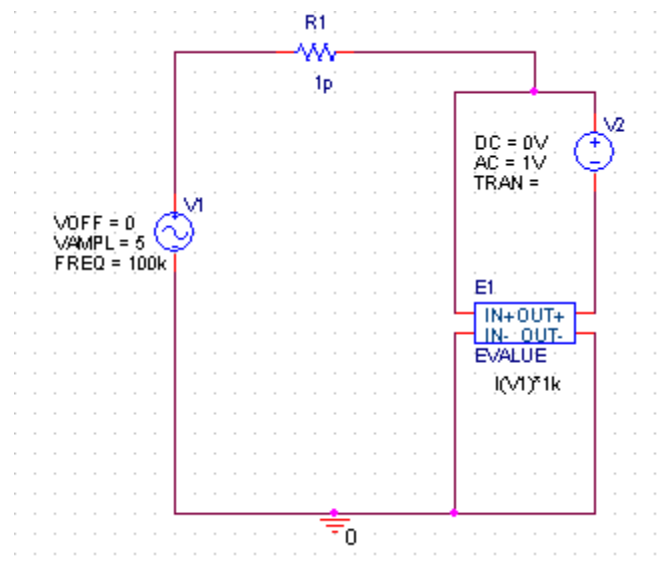


Figure II.2 : Schéma de montage d'un macro-modèle d'une résistance

Tenant compte de l'expression $V = R \cdot I$, le modèle de base sera représenté par la source "EVALUE" pour délivrer en sortie une tension qui modélise la résistance.

Le macro-modèle représentatif de la résistance est illustré dans la figure II.4. Nous constatons à travers les courbes de ce macro-modèle, que la résistance $R = V(E_1) / I(V_1)$ représente effectivement une résistance égale à $1k\Omega$.

II.5. Modélisation d'un demi-pont

Etant donné qu'un pont de mesure est constitué de branches en dérivation qui peuvent contenir des éléments en série, en parallèle ou les deux ensembles. Par conséquent, il est utile d'identifier l'agencement de deux primitives pour représenter deux résistances en série. Il s'agit en fait, de préparer un demi-pont sous un macro-modèle (Fig. II.3).

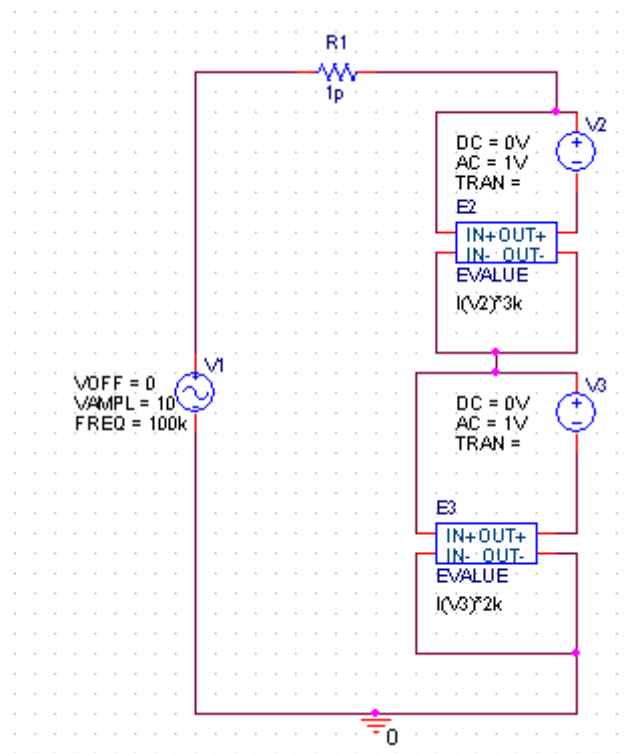


Figure II.3: Schéma du montage d'un macro-modèle "demi-pont"

On constate d'après la courbe du macro-modèle simulé (Fig. II.5), que la résistance du demi-pont est la somme de deux résistances en série qui le constituent, et égale à $5k\Omega$.

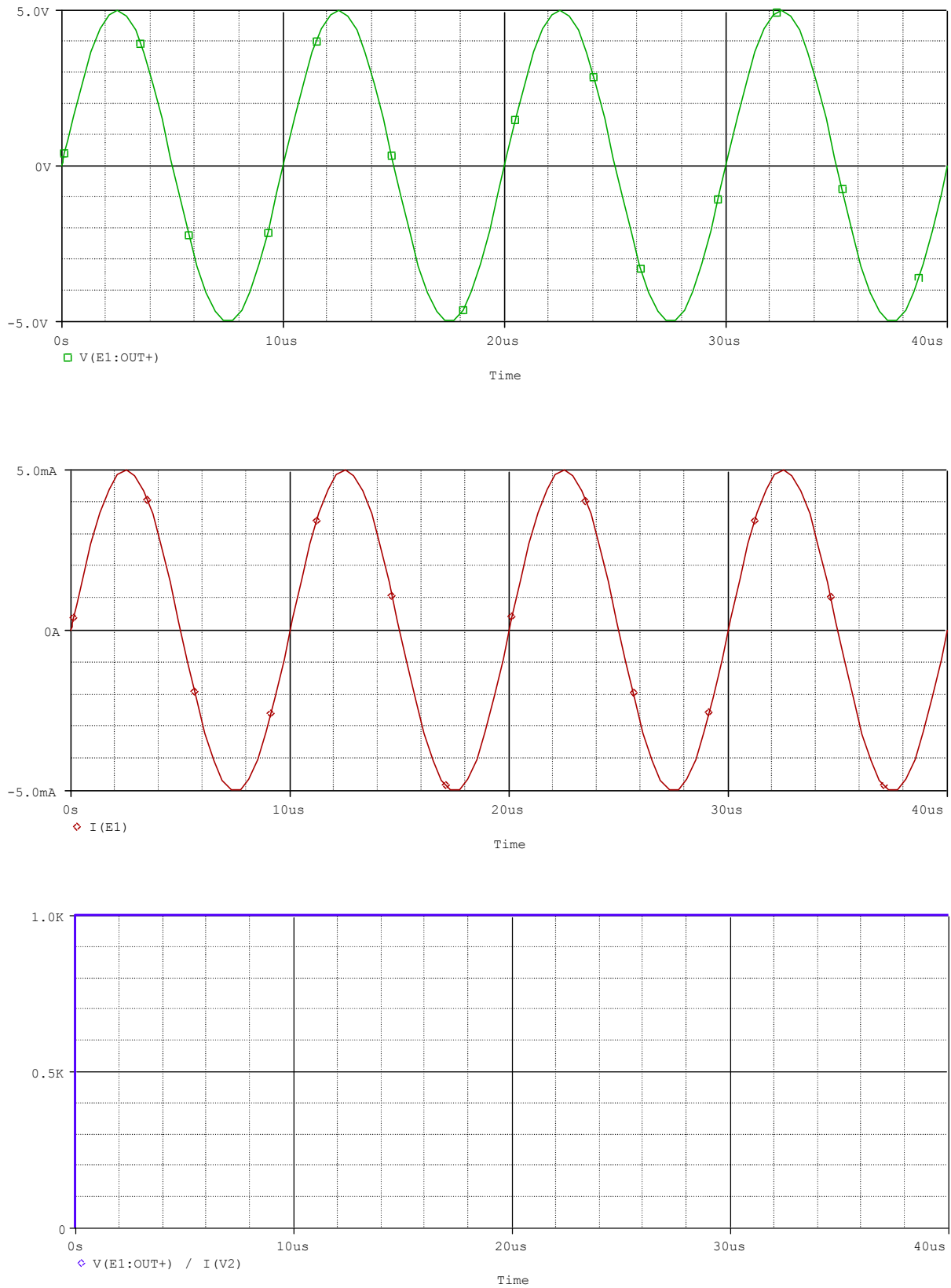


Figure II.4 : Courbes représentatives de la tension V_1 (a), du courant I (b) et de la résistance (c)

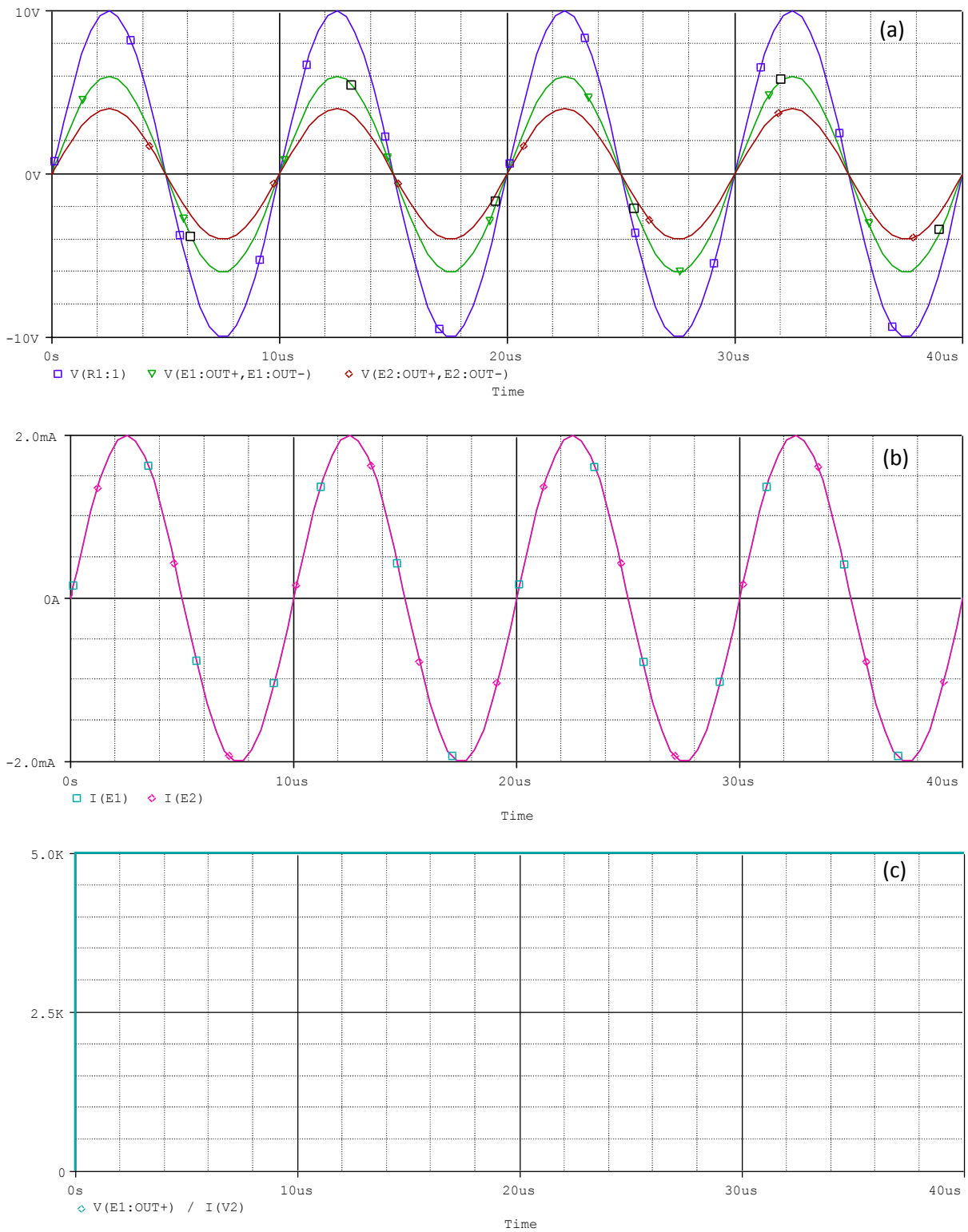


Figure II.5 : Courbes représentatives de la tension V_1 (a), du courant I (b) et de la résistance équivalente du demi-pont (c)

II.6. Modélisation d'un pont

Le macro-modèle représentatif du pont est constitué de quatre (04) modèles de résistances montées en pont et d'une source V_1 qui délivre une tension (Fig. II.6)

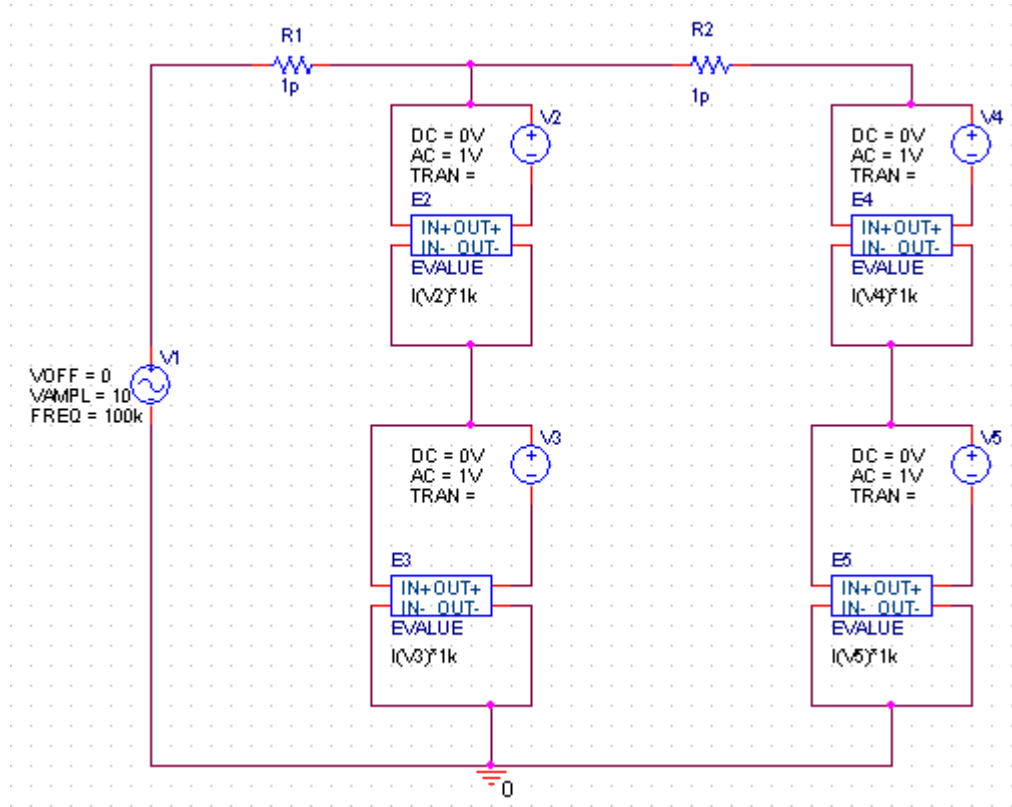


Figure II.6 : Schéma du montage du macro-modèle "pont de résistances"

Lorsque toutes les résistances sont égales ($1\text{ k}\Omega$), on remarque que la tension de sortie (V_s) est nulle (figure suivante).

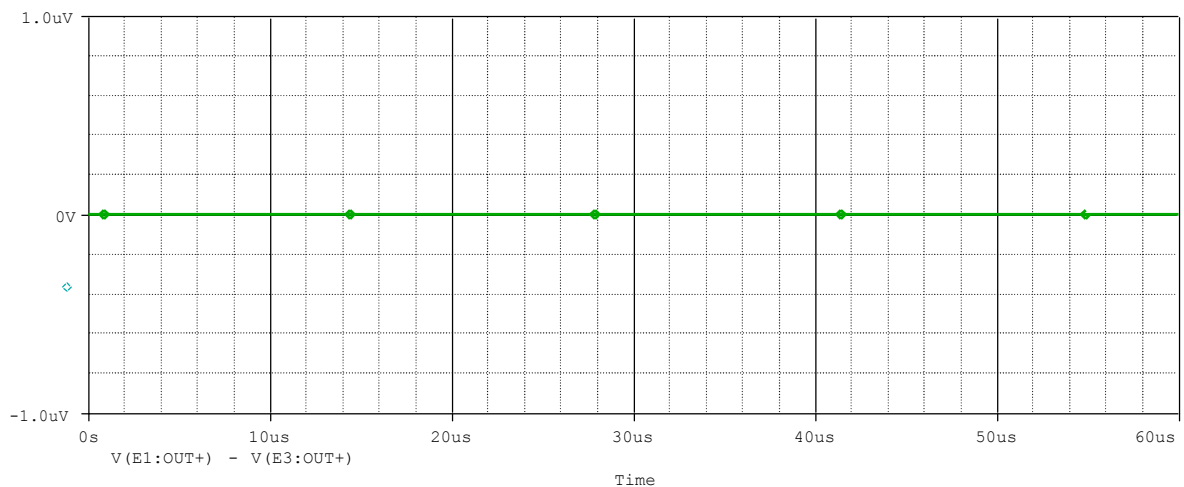


Figure II.7 : Courbe représentative de la tension de sortie d'un pont équilibré

Cette tension de sortie confirme le formalisme d'un pont équilibré (Fig. II.8).

$$V_s = \frac{R_1 - R_4}{R_1 + R_4} V_e, \text{ pour : } R_1 = R_3 \text{ et } R_2 = R_4$$

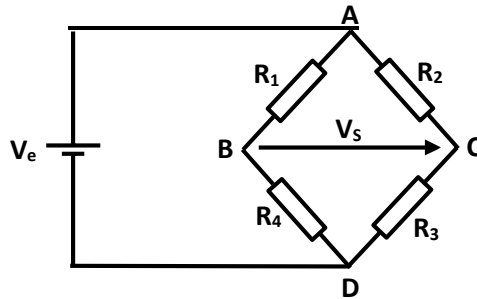


Figure II.8 : Montage représentatif d'un pont à 4 résistances

II.7. Avantages et inconvénients

L'avantage majeur de la macromodélisation, c'est qu'elle ne nécessite pas l'apprentissage d'un langage de programmation, mais une bonne connaissance d'un simulateur analogique. Avec la macromodélisation, nous pouvons alors réaliser un grand nombre de fonctions : fonctions mathématiques, filtres, détecteurs de phase, modulateurs d'amplitude et de largeurs d'impulsions, oscillateurs, convertisseurs, comparateurs, amplificateurs et boucles à verrouillage de phase. Cependant, malgré les avantages et la simplicité apparente, la macro-modélisation pose un certain nombre de limitations [14] :

- ☒ La non-linéarité des composants et de la tension de décalage ;
- ☒ Problème de convergence qui est dû à la discontinuité ;
- ☒ La limitation des circuits analogiques.

II.8. Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons met en œuvre la méthode de la macro-modélisation comportementale d'un pont de résistances qui est la base de la suite de notre travail.

Chapitre III

*l'Effet
du Dopage et de
la Température sur
la Piézorésistivité*

Chapitre III

L'effet du dopage et de la température sur la piézorésistivité

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une macro-modélisation basée sur le modèle de mobilité ARORA, l'objet est d'analyser la température et le dopage.

Sachant que la mobilité dépend du dopage et de la température il est évident que les jauges piézorésistances du capteur de pression en dépendent également. En utilisant un modèle de mobilité nous avons tracé les variations de température sur une plage de dopage comprise entre 10^{14}cm^{-3} et 10^{20}cm^{-3} et les variations de dopage sur une plage de température comprise entre 150°K et 400°K .

III.2. Explication théorique de la piézorésistivité de silicium

L'effet piézorésistif du silicium a été démontré par Smith en 1954 [21]. Depuis, des jauges de déformation en silicium sont largement utilisées pour remplacer les jauges métalliques traditionnelles[22]. Il s'agit d'une variation de la résistivité d'un matériau en fonction des déformations de sa structure cristalline. Le silicium mono ou polycristallin possède une telle propriété. L'introduction de jauges piézorésistives dans la partie vibrante conduit alors à la mesure de certaines déformations[23].

Globalement, la variation de la résistivité du silicium cristallin sous l'effet d'une contrainte est engendrée par la modification de la structure cristallographique du silicium [24]. La contrainte appliquée provoque un changement de la bande d'énergie du semiconducteur, par conséquent, la mobilité des porteurs et la résistivité du matériau varient selon différentes orientations cristallographiques. Concernant le silicium polycristallin, à part la variation de la bande interdite, plusieurs facteurs contribuent aussi à l'effet piézorésistif, y compris la température, la taille des grains, la résistance aux joints des grains, ... etc[22].

De nos jours, il n'y a pas de modèle qui tient compte parfaitement de l'effet piézorésistif du silicium. Plusieurs hypothèses sont proposées en essayant d'expliquer et de modéliser le phénomène de piézorésistivité, tout en intégrant les facteurs d'influence pour s'approcher des données empiriques[25].

III.3. Jauge de déformation à effet résistif et piézorésistif

C'est la méthode la plus largement utilisée dans le domaine des capteurs de déformation. La déformation entraîne une variation proportionnelle de la résistance de la jauge, qui est ensuite traduite en signal par le circuit électronique. Les jauges de déformation sont constituées de différents matériaux comme : les métaux, les semi-conducteurs, mais aussi les oxydes, et les polymères conducteurs. Ces dernières années, de nouveaux matériaux ont été utilisés pour mesurer la déformation avec une sensibilité largement plus élevée, comme les nanotubes de carbone et les fibres de carbone[22].

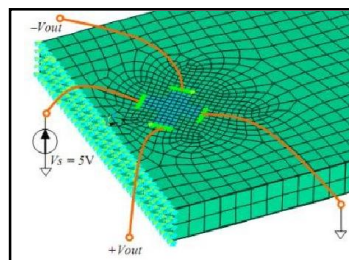


Figure III.1 : Schéma de principe du positionnement des jauges piézorésistives

III.4. Facteurs d'influence de la piézorésistivité

La propriété piézorésistive est caractérisée par les coefficients de piézorésistivité, π , qui transforment la contrainte en variation de la résistivité du matériau ρ [22].

La piézorésistivité du silicium, qui se mesure en coefficient de piézorésistivité ou en facteur de jauge, est liée à plusieurs paramètres géométriques ou électriques de la jauge. On peut donc ajuster la propriété piézorésistive de la jauge en silicium en contrôlant ces paramètres au cours du dépôt. Certains de ces facteurs jouent un rôle décisif sur la sensibilité d'une jauge piézorésistive[25].

III.4.1. Dopage

Le niveau de dopage a une influence la plus importante sur la piézorésistivité du silicium. Phosphore et bore sont normalement utilisés pour doper le silicium respectivement en type N et P. Empiriquement, la piézorésistance du type P démontre un facteur de jauge GF plus élevé que celui du type N. Par ailleurs, il est aussi prouvé expérimentalement que la piézorésistivité du silicium type P est moins dépendante de la température[22].

III.4.2. Température

Le coefficient de piézorésistivité diminue avec l'augmentation de la température ambiante. Le coefficient thermique de la résistance qui décrit le taux de variation de la résistance suite à une variation de la température, est considérablement réduit si le niveau de dopage est élevé. Autrement dit, la résistance en silicium fortement dopé est moins sensible à la variation de la température[22].

III.4.3 Effets combinés du dopage et de la température

Dans le but de faire une macromodélisation par PSpice de l'effet piézorésistif, nous utilisons comme un support la variation de conductivité dans un monocristal de Silicium pour mettre au point une formulation générale intégrant les paramètres du dopage et de la température à travers un facteur de piézorésistance $P(N, T)$ [26]. Ce facteur multiplicatif permet d'obtenir un coefficient de piézorésistivité $\pi_{l,t}(N, T)$ d'une résistance de Silicium se trouvant à la température T et ayant une concentration N en dopants accepteurs ou donneurs à partir de l'expression suivante [12] :

$$\pi_{l,t}(N, T) = \pi_{l,t}(10^{16}, 300^{\circ}K) \cdot P(N, T)$$

Où $\pi_{l,t}(10^{16}, 300^{\circ}K)$ est un coefficient pris comme référence et $P(N, T)$ est un facteur de piézorésistance, donné par la formule suivante [26] :

$$P(N, T) = \frac{300}{T} \frac{1}{(1 + \text{Exp}(-\frac{E_f}{K_B T})) \ln(1 + \text{Exp}(\frac{-E_f}{K_B T}))}$$

E_f est le niveau de Fermi et K_B et la constante de Boltzmann.

Les variations du facteur $P(N, T)$ en fonction du dopage avec la température comme paramètre[7].

III.5. Etude de la mobilité

La mobilité est par définition une grandeur positive mesure l'aptitude des porteurs à se déplacer dans le réseau cristallin. Elle est d'autant plus grande que le cristal est pur et que la masse effective des porteurs est faible. C'est un paramètre fondamental qui conditionne le fonctionnement des composants en haute fréquence. Sachant que pour une piézorésistance rectangulaire la relation exprimant la valeur de sa résistance s'écrit [12]:

$$R(T) = \rho(T) \frac{L}{S}$$

Pour une piézorésistance de type P, la mobilité des porteurs intervient dans l'expression de $\rho(T)$ à travers la relation :

$$\frac{1}{\rho(T)} = q\mu_p(T)N_A$$

Où :

q est la charge élémentaire, $\mu_p(T)$ est la mobilité des trous (porteurs majoritaires) et N_A est la concentration des dopants.

Introduisant l'équation (1) dans l'équation (2) on obtient :

$$R(T) = \frac{1}{q\mu_p(T)N_A} \frac{L}{S}$$

Avec $\frac{L}{S} = cte$, par les modèles utilisés, on détermine la variation thermique de la mobilité pour chaque dopage donné et faisant l'identification de l'équation (3) avec l'équation (1) on déduit facilement par la méthode d'interpolation les deux coefficients de température α et β .

III.6 Modèle d'ARORA

La mobilité en fonction du dopage et en fonction de la température est donnée par ARORA, par l'expression[12] :

$$\mu = \mu_{mn} + \frac{\mu_{0n}}{1 + \left(\frac{N_T}{N_{cn}}\right)^\theta}$$

Où :

$$\mu_{mn} = 88 \left(\frac{T}{300}\right)^{-0.57} \quad (cm^2/V.S)$$

$$\mu_{0_n} = 1250 \frac{T}{300}^{2.33} \quad (cm^2/V.S)$$

$$N_{cn} = 1.26 \times 10^{17} \left(\frac{T}{300}\right)^{2.4} \quad (cm^{-3})$$

$$\theta = 0.88 \left(\frac{T}{300}\right)^{-0.146}$$

III.7. Résultats de simulation

III.7.1. La mobilité μ

a. Variation de la mobilité en fonction du dopage pour plusieurs valeurs de températures

Le macro-modèle de la résistance en fonction de la pression appliquée est schématisé par le montage fonctionnel représenté par la figure suivante :

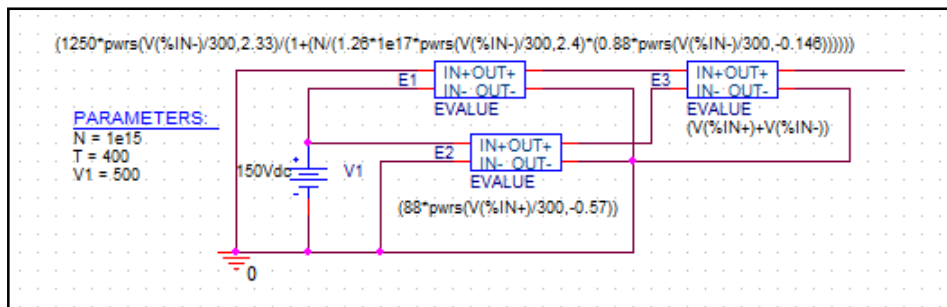


Figure III.2: Schéma de simulation d'un capteur de pression par PSpice

Afin de tester le comportement dynamique du modèle capteur de pression piézorésistif, nous avons fait varier la température en fonction de dopage dans une plage de 10^{14} à $10^{19} cm^{-3}$, par l'analyse «DC- SWEEP: Primarysweep /Secondarysweep/ParametricSweep» on obtient les résultats représentés aux la figure ci-dessous :

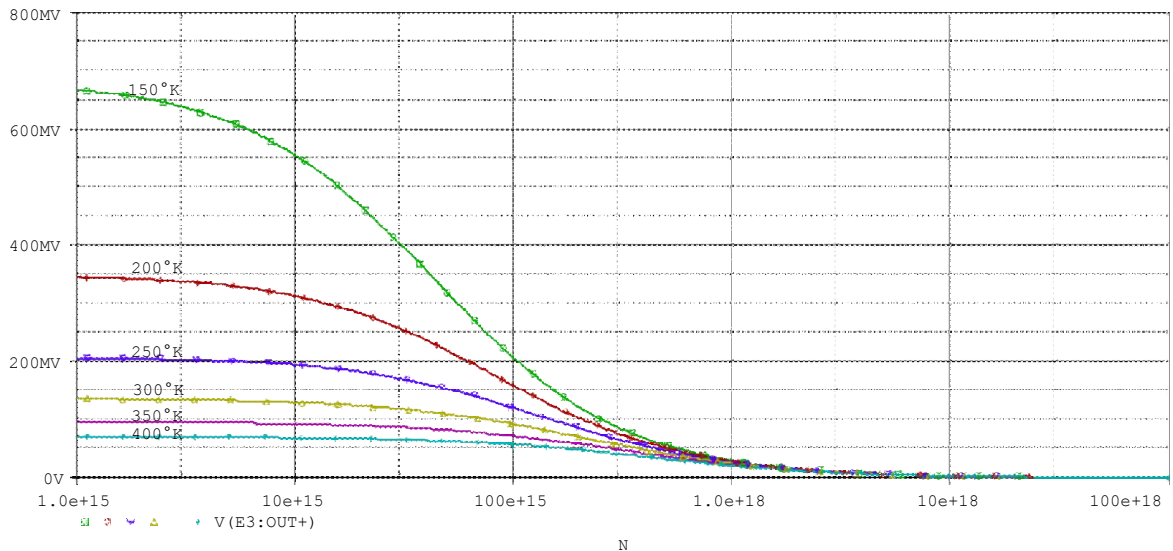


Figure III.3 : Evolution de la mobilité en fonction du dopage pour plusieurs valeurs de température

➤ L'examen de ces courbes de variation montre bien la non linéarité de la mobilité en fonction du dopage, où elles prennent une forme plus au moins parabolique. Sa valeur augmente plus que la température diminue.

b. Variation de la mobilité en fonction de la température pour plusieurs valeurs de dopages

On a utilisé le montage précédant avec des nouvelles valeurs sur les paramètres (N, T, V₁)

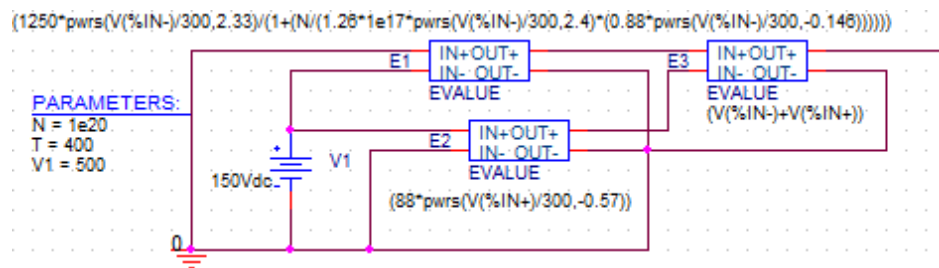


Figure III.4: Schéma de simulation environnement Spice

Nous avons fait varier le dopage en fonction température de dans une plage de 150 à 400°C, par l'analyse «DC- SWEEP: Primarysweep /Secondarysweep/ ParametricSweep » on obtient les résultats représentés aux la figure ci-dessous :

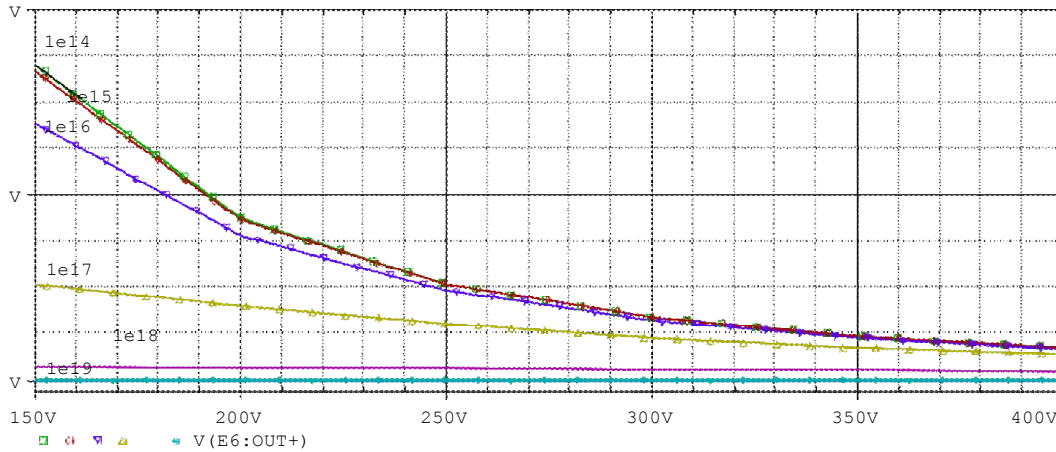


Figure III.5: Evolution de la mobilité en fonction de la température pour plusieurs valeurs du dopage

Pour une température varie entre 150et 400°C, on observe que l'augmentation de la mobilité est liée au faible dopage.En effet, une mobilité élevée est constatée pour un dopage de 10^{14} cm^{-3} et une température de 150 °C.

Le niveau du dopage supérieur à 10^{19} cm^{-3} permettrait une résolution plus précise et plus indépendante de la température.

III.7.2. La résistivité ρ

a. Variation de la résistivité en fonction de la température pour plusieurs valeurs dedopages

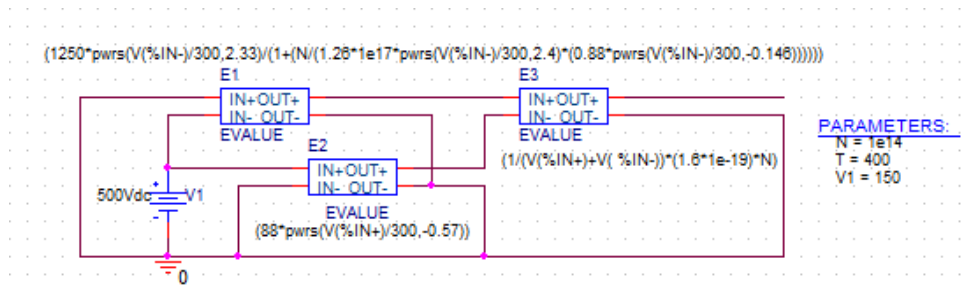


Figure III.6: Schéma de simulation environnement Pspice

La valeur de la résistivité $\rho = \frac{1}{q\mu_p(T)N_A}$ est intégrée sur le montage et traduis par une formule développé par PSpice.

La variation de la résistivité en fonction de la température dans un intervalle de 150 à 400°C, pour plusieurs valeurs du dopage, est présentée dans la figure ci-dessous :

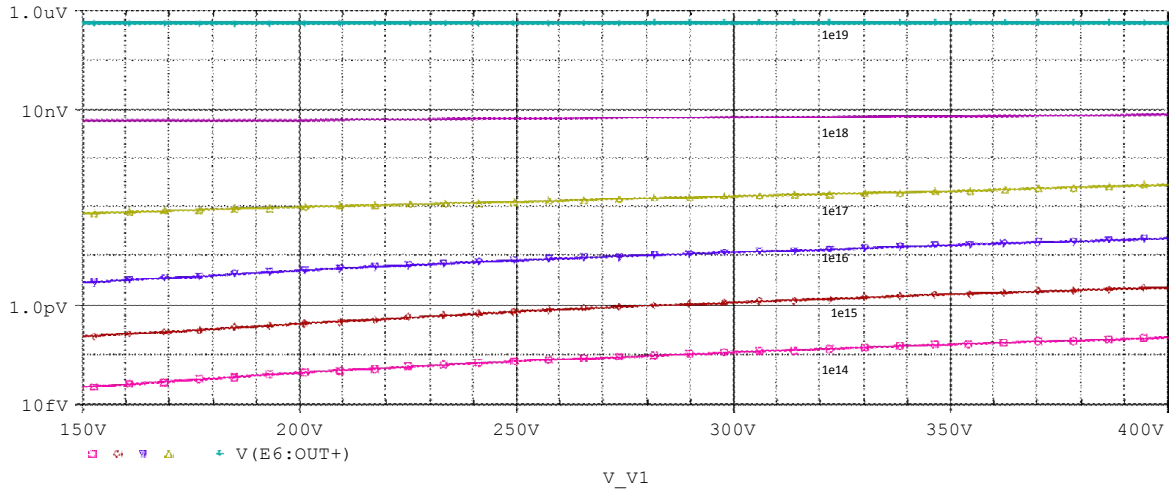


Figure III.7 : Evolution de la résistivité en fonction de la température pour la variation du dopage

b. Variation de la résistivité en fonction du dopage pour plusieurs valeurs de températures

Pour avoir une variation sur la résistivité en fonction du dopage nous avons changé les valeurs de PARAMETRS

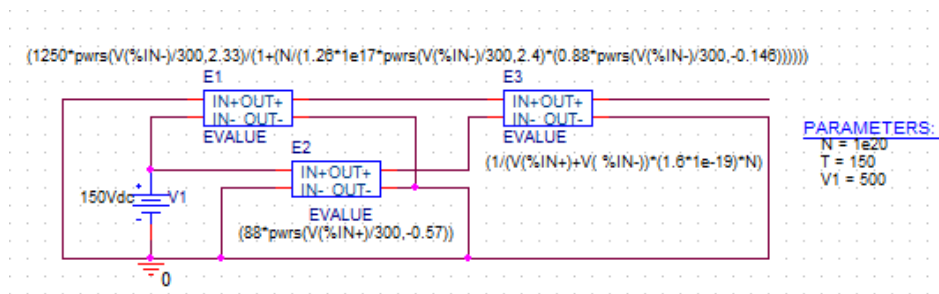


Figure III.8: Schéma de simulation environnement Pspice

Les résultats obtenus sont schématisés dans la figure suivante :

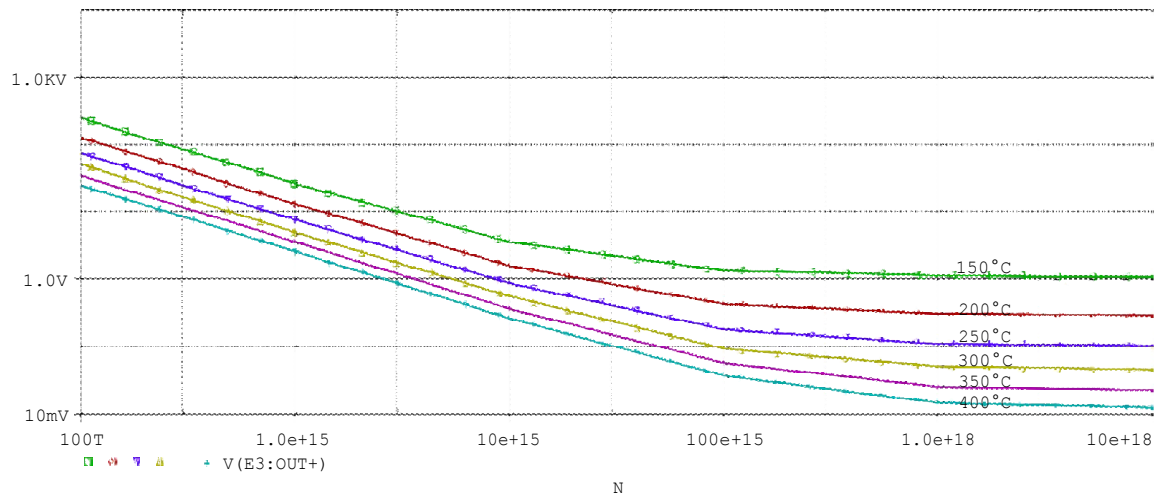


Figure III.9 : Evolution de la résistivité en fonction du dopage pour la variation de la température

On remarque que, pour une température donnée, la valeur de la résistivité diminue quand le dopage augmente. D'autre part, pour un dopage bien déterminé, l'augmentation de la température fait diminuer la résistivité. Donc la résistivité est fortement liée au dopage et à la température.

III.8. Conclusion

Ce chapitre se focalise sur une étude du comportement de la piézorésistance du silicium. Nous avons présenté un macro-modèle d'un capteur piézorésistif qui comporte deux expressions. La première représente la mobilité en fonction de la température et du dopage, et la deuxième expression décrit la résistivité relative de la température et du dopage.

Conclusion

Générale

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a pour objectif d'effectuer le parallélisme entre le modèle physique conçu en technologie et le macro-modèle PSpice. Ceci permet de valider les techniques de modélisations proposées et d'en apprécier les avantages et les limites.

Ainsi, nous avons découvert la conception d'un composant uniquement par des sources électriques et des primitives qui permettent d'inclure une fonction quelle que soit sa nature.

Ce modèle conçu offre, donc, à l'utilisateur le choix de pondérer selon l'application les paramètres influent sur le système.

La méthode de modélisation que nous avons suivie peut servir à la conception des circuit analogiques.

Cette méthode offre une bonne approche pédagogique pour l'étude de conception de systèmes.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] N. BENMOUSSA, " Conception, modélisation et réalisation d'un capteur de pression capacitif Microélectronique ", Thèse doctorat de l'université Paris Sabatier Toulouse, 1985.
- [2] F. KERROUR, "Etude et Modélisation de Capteur de Pression Piézorésistifs et Capacitifs au Silicium", Thèse Doctorat, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [3] P. MENINI, "Faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniatures au silicium", Thèse doctorat Université Paris Sabatier Toulouse. 1998
- [4] Y. LEE, K. WISE "A batch-fabricated silicon capacitive pressure transducer with low temperature sensitivity ", IEEE transaction on electronics devices, Vol. ED-29.
- [5] F. OLIVIER, "Capteur et électronique associée", 2000.
- [6] G. ASCH et collaborateurs, "les capteurs en instrumentation industrielle", Bordas, Paris, ISBNs 2-04-016948-2, 1987.
- [7] F. KERROUR, "Etude et Modélisation de Capteur de Pression Piézorésistif et Capacitifs au Silicium", Thèse Doctorat, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [8] P. MENINI, "Faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniatures au silicium", Thèse doctorat, Université Paris Sabatier Toulouse, 1998.
- [9] A. BOUGHAROUAT, "Modification de la sensibilité d'un QCM (Quartz Cristal Microbalance) par le dépôt dessus de films minces élaborés par plasma à partir de vapeurs de TEOS", mémoire de magister en Microélectronique, Université de Constantine, Avril 2009.
- [10] N. NORBERT, "du signal à l'information: le capteur intelligent exemples industriels en médecine", S.L : Habilitation à diriger des recherches, Avril 2002.
- [11] D. MARI, "Transducteurs et capteurs I", Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne, Novembre 2011.
- [12] M. RAS LAIN, " Contribution à l'identification des paramètres de non idéalité dans les capteurs de pression piézorésistifs au Silicium", Diplôme de Doctorat en Sciences, l'université de Constantine, 06/07/2009.

- [13] C. DOMINGUES, "Conception de transducteurs acoustiques micro-usinés", Thèse Doctorat en Micro et Nano Electronique, Ecole Doctorale TIMA, 29 avril 2005.
- [14] I. BENACER, "Modélisation comportementale de SPICE a VHDL-AMS" mémoire de magister, Université de Batna.
- [15] S. BELKACEM, "Macromodélisation comportementale de circuits analogiques application au circuit convoyeur de courant", mémoire de magister en micro-électronique, Université de Batna, 2005.
- [16] F. LEMERY, "Modélisation comportementale de circuits analogiques et mixtes", thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, décembre 1995.
- [17] D. ANDREU, "La Modélisation Comportementale de SPICE a VHDL-AMS", Enseigt, Département d'électronique, Toulouse.
- [18] K. MERABET, " Etude et simulation d'un capteur de pression capacitif au silicium", mémoire de magister en électronique, Université de Constantine, 2010.
- [19] A. BOUBAAYA ET A .BOURAS, "Simulation de composants électronique par PSpice ", mémoire d'ingénieur d'état en génie électronique, Université de M'Sila, 2010.
- [20] S. JEMMALI, " Contribution à l'élaboration de méthodologies et d'outils d'aide à la conception de système multi technologues", thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Communications, 2003.
- [21] C.S. SMITH, "Piézorésistance Effect in Germanium and Silicon", Phys. Rev. 94, (1954).
- [22] W. YANG " Conception et intégration de microsystèmes sur un cylindre pour la mesure de ses déformations : application à un outil du domaine de la santé ", thèse de doctorat, l'université de Grenoble, Novembre 2011.
- [23] J.T. BEEK, P.G. STEENEKEN, and B. GIESBERS "A 10MHz piezoresistive MEMS resonator with high Q ", In International Frequency Contral Symposium and Exposition, IEEE 2006.

- [24] *A. BARLIAN et al., Review "Semiconductor Piezoresistance for Microsystems", Proceedings of the IEEE, vol. 97, no. 3, pp. 513-552, 2009*
- [25] *P. J. FRENCH, A. G. R. EVANS, "Piezoresistance in polysilicon and its application to strain gauges", Solid-State Electronics, Volume 32, Issue 1, January 1989.*
- [26] *Y. KANDA "A graphical representation of the piezoresistance coefficients in Silicon", IEEE Trans, On Electron Devices, Vol. 29, N°1, Jan 198*

Résumé

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons procédé à la modélisation de l'effet du dopage et de la température sur la piézorésistivité d'un capteur piézorésistif par le logiciel de simulation Pspice de version 9.1. D'abord, on a commencé par présenter une synthèse sur les capteurs de pression piézorésistifs. Ensuite, nous avons fait une présentation de base sur la conception d'un composant dans la librairie du Pspice, qui est l'"EVALUE". Enfin, nous avons étudié l'effet du dopage et de la température sur la piézorésistivité en utilisant le modèle ARORA.

Mots clés: Silicium, capteur de pression, tension d'offset, piézorésistivité, modélisation.

Abstract

In this study, we proceeded to the modeling of Piezoresistive Bridge by Pspice of version 9.1. Initially, we started by presenting a synthesis on the piezoresistive pressure. Then, we prepared a basic presentation on the design of a component in the bookshop of Pspice, which is the "EVALUE". Finally, we studied the effect of doping and the temperature on the piezoresistivity by using model ARORA.

Keys words: Silicon, pressure sensor, offset voltage, piezoresistivity, modeling.