

Introduction

Après une présentation de la diode de façon générale et la diode polycristalline , sujet de notre étude. Les modèles de conduction ont été éclairci pour expliquer la variation des propriétés électriques des couches de silicium poly-cristallin en fonction de la concentration de dopant, de la température, du matériau dopant, de la taille des grains et des traitements thermiques avant et après dopage.

Afin de simuler les caractéristiques électriques de notre diode latérale à base de silicium polycristallin , On a besoin de spécifier les paramètres technologiques, du dispositif fini. Nous avons présenté une synthèse des caractéristiques de cette diode dans le chapitre précédent tel que : le type et le dopage du substrat, le dopage des Anode et Cathode, l'épaisseur de l'oxyde, enfin l'épaisseur de la couche de métal (Aluminium) servant comme électrodes.

Après l'élaboration d'un programme sous environnement Silvaco-Atlas les résultats obtenus vont être comparé avec ceux mesurée pratiquement .Les mesures ont été faite dans un laboratoire à l'étranger.

Les étapes suivis pour simuler notre structure objet sont :

IV.1.Les étapes de programmation

Après la présentation de la chaine progicielle TCAD de SILVACO(chapitre III),sa structure interne et le fonctionnement d'Atlas nous allons présenter l'ordre des commandes propres à la logique de programmation Atlas .Ainsi, il existe cinq groupes de commandes ,ces groupes doivent être organisés correctement .Si l'ordre n'est pas respecté,un message d'erreur apparait et le programme ne s'exécute pas d'une façon correcte[1]

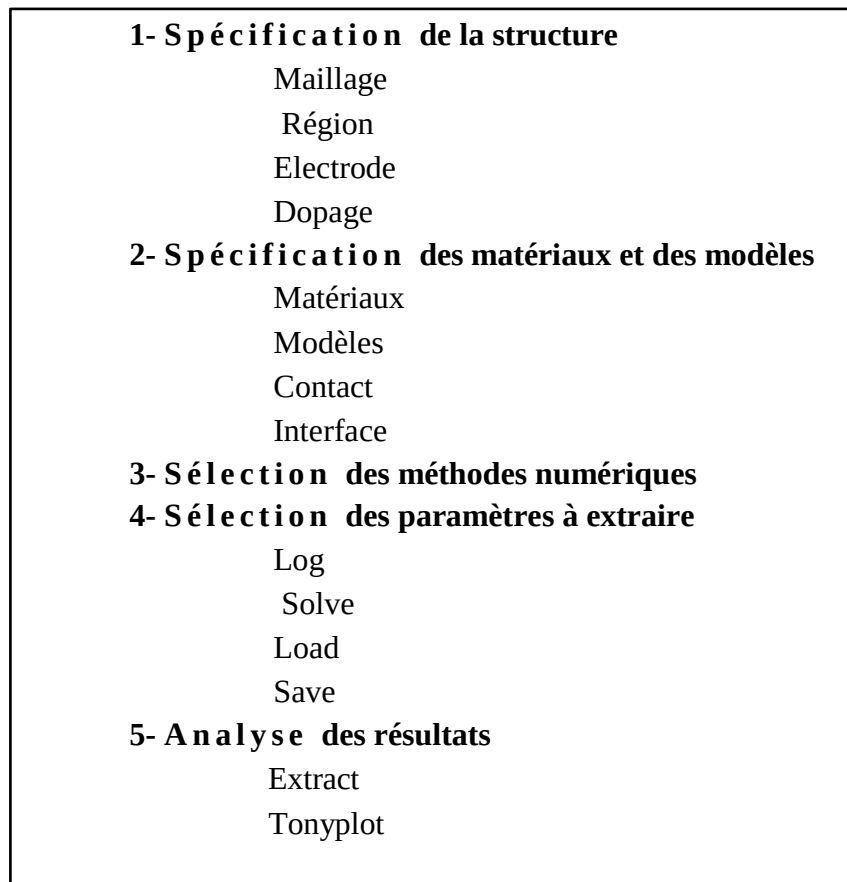


Fig.IV.1 :Groupes de commandes[1.2].

IV.1.1.Spécification de la structure

IV.1.1.1.Maillage :

Le maillage est choisi de telle sorte qu'il soit serré au voisinage de la jonction et relâché ailleurs

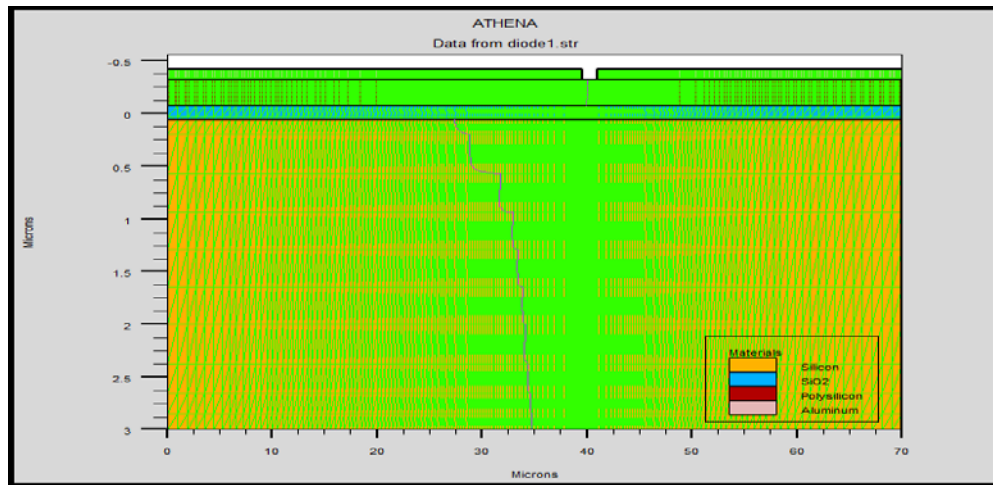


Fig. (IV.2).: Maillage à deux dimensions(x,y).

IV.1.1.2. Les régions de la jonction

Après avoir défini le maillage, il est nécessaire de définir les régions dont le format est le suivant :

Région nombre=<intègre><matériel type>/<position des paramètres>

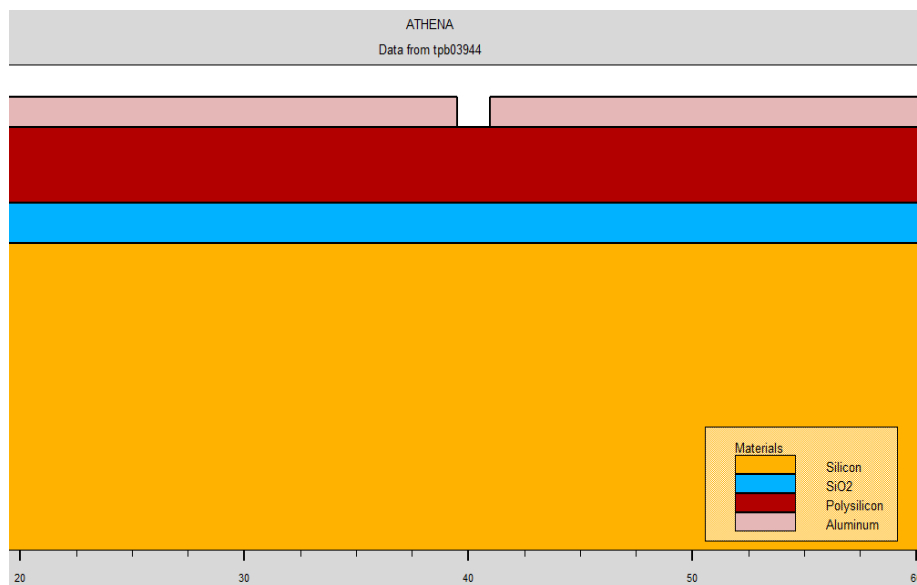


Fig.(IV.3).Définition des régions.

IV.1.1.3. Les électrodes

Atlas à un élamite de 50 électrodes qui peuvent être définies. Le format de définition des électrodes est comme suit :

Electrode Name=<nom de l'électrode><position des paramètres>

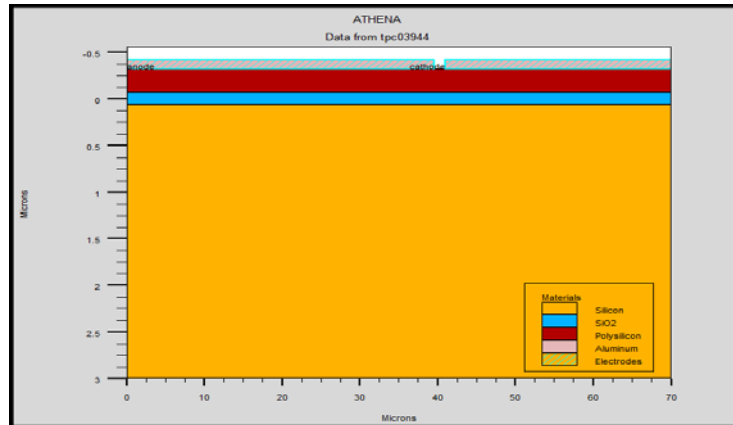


Fig (IV.4). Dépôt des électrodes

IV.1.1.4. Le dopage

Le dernier aspect de la spécification de la structure qui doit être défini est le dopage. Le format de la déclaration de dopage dans Atlas se présente comme suit:

DOPAGE<type de distribution><type de dopant>/<position des paramètres>.

Le dopage peut être de type N ou P. Le type de distribution peut être uniforme ou gaussienne.

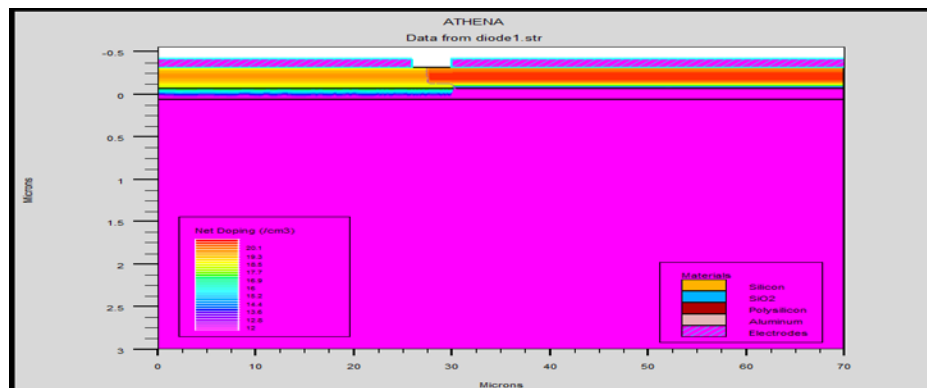


Fig (IV.5). Type de dopage.

IV.2.2. Spécification des matériaux et des modèles

IV.2.2.1. Le matériau

Le format de la déclaration d'un matériau est le suivant:

MATERIAL<localisation><définition du matériau>

Plusieurs autres paramètres peuvent être définis par la déclaration «Matériel».

IV.2.2.2. Modèles physiques

Les modèles physiques sont classés en cinq catégories : mobilités des porteurs de charges, mécanismes de génération- recombinaison, les statistiques de transport, l'ionisation par impact et l'effet tunnel .La syntaxe de la déclaration du modèle est la suivante :

MODEL<paramètres générales>/<paramètres du modèle>

IV.2.2.3. Le contact

Le contact détermine les attributions des électrodes .La syntaxe du contact est la suivante: contact nombre=<n>|NOM=<ename>| ALL

IV.2.2.4. L'interface

Les limites du semi-conducteur ou de l'isolant sont déterminées dans la déclaration d'interface. La syntaxe est la suivante : INTERFACE [<paramètres>]

IV.2.3. Sélection des méthodes numériques

Après la précision du modèle de matériaux, la sélection de la méthode numérique doit être indiquée. Par mille différentes méthodes numériques de résolution des systèmes d'équation, trois types de techniques sont utilisées dans «Silvaco-Atlas»:

- Méthode de GUMMEL

- Méthode de NEWTON

- Méthode de BLOCK

IV.2.4. Spécification de Solution

IV.2.4.1.Log

L'instruction Log enregistre toutes les caractéristiques finales de simulation dans un fichier de données. N'importe quel type de données , générées par la commande SOLVE est sauvé après la commande LOG .Si dans le programme il ya plusieurs commandes LOG ,chaque fois le fichier log qui a été ouvert avant est fermé et un nouveau fichier log est ouvert.

IV.2.4.2 Solve (Résoudre)

L'instruction SOLVE suit l'instruction LOG .Elle effectue une solution pour un ou plusieurs points de polarisation.

IV.2.4.3 Load et Save(chargement et sauvegarde)

L'instruction LOAD introduit, à partir d'un fichier existant, pour chaque point de polarisation les solutions précédentes tant que proposition initiale.

L'instruction SAVE permet l'enregistrement de toutes les informations obtenues pour un nœud dans un fichier de sortie.

IV.2.5.Analyse des résultats

EXTRACT: Les commandes de ce type sont utilisées pour extraire les valeurs bien précises des paramètres des deux types des fichiers log ou structure.

TONYPLOT :Les résultats et les informations obtenues par la simulation peuvent être affichés graphiquement avec tonyplot après exécution de chaque instruction.

IV.3.Simulation des caractéristiques électriques de la diode latérale

IV.3.1.Caractéristique courant-tension

Dans son fonctionnement normal, une diode s'utilise en polarisation directe et inverse, c'est-à-dire lorsque le courant circule de l'anode vers la cathode, la diode se comporte comme un conducteur avec une résistance interne relativement petite par contre lorsque la diode est polarisée en inverse elle présente une résistance infiniment grande et la diode se comporte comme un circuit ouvert.

Après exécution du programme élaboré sous Silvaco et un choix judicieux des instructions, les résultats $I(V)$ obtenus après simulation pour des différentes températures de la diode polycristalline sont présentés par les figures ci-dessous.

La caractéristique $I(V)$ pour une température $T = 300K^\circ$ et des tensions positives (sens direct) est donnée par la figure (IV.6) ci-dessous.

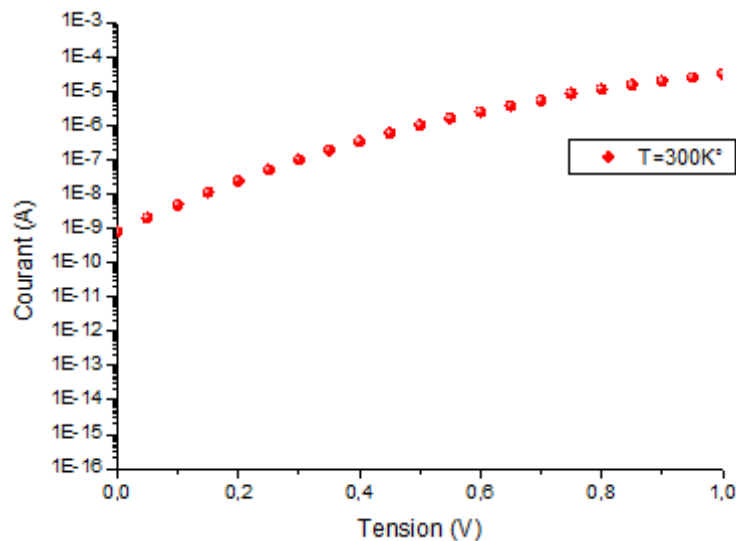


Fig.(IV.6).Caractéristique courant tension pour une température $T=300k^\circ$

On constate que le courant $I(V)$ suit une allure exponentielle et que le courant de saturation est compris entre 10^{-10} et 10^{-9}

La caractéristique $I(V)$ pour une température $T = 323K^\circ$ et des tensions positives (sens direct) est donnée par la figure (IV.7) ci-dessous.

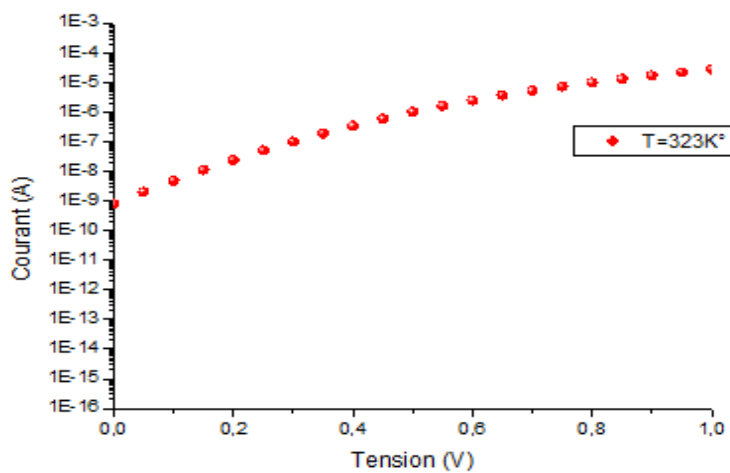


Fig.(IV.7).Caractéristique courant tension pour une température $T=323k^\circ$

On constate que l'évolution du courant en fonction de la tension est non linéaire et le courant de saturation peut être obtenu par intersection de la courbe sur l'axe des ordonnées. On remarque aussi que ce dernier est petit et de l'ordre de $I_s = 10^{-10} \sim 10^{-9}$.

De la même façon pour la température $T=333k^\circ$ la courbe obtenue après simulation est donnée par la figure(IV.8)

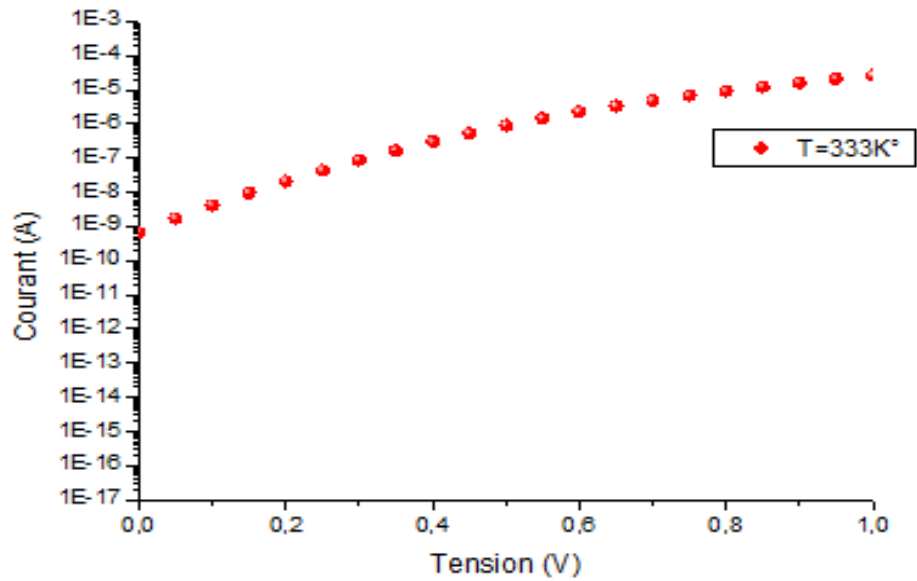


Fig.(IV.8).Caractéristique courant tension pour une température $T=333K^{\circ}$.

On remarque que la courbe a une allure non linéaire et on constate que le courant de saturation a augmenté avec la température sa valeur pour cette température est de l'ordre de $I_s = 10^{-10} \sim 10^{-9} A$.

Les caractéristiques $I(V)$ des différentes températures sont regroupés dans la figure (IV.9) ci-dessous pour un éventuel analyse.

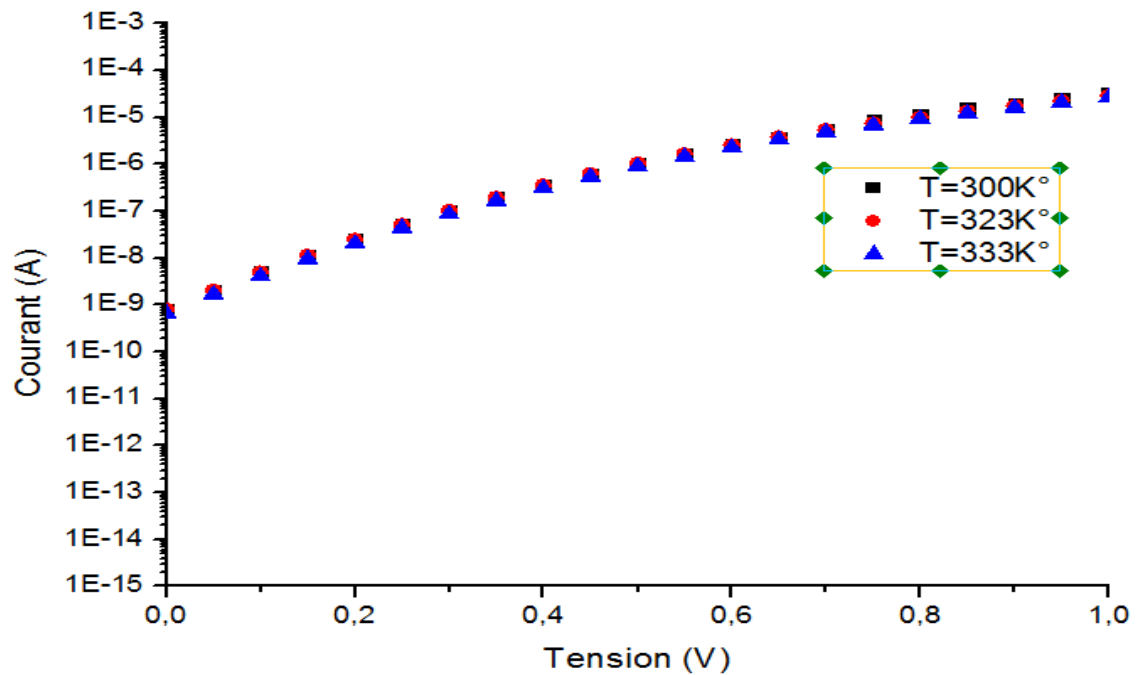


Fig.(IV.9).Caractéristique courant tension des différentes températures
($T=333K^{\circ}$; $T=323K^{\circ}$. $T=300K^{\circ}$)

On constate qu'au fur et à mesure que la température augmente le courant de saturation suit le même cheminement et il progresse de 10^{-9} .

Après on a besoin de tracer les caractéristiques $I(V)$ pour ces différentes températures pour les valeurs obtenus par mesures pratiques.

La caractéristique $I(V)$ pour une température $T = 300K^{\circ}$ et des tensions positives (sens direct) est donnée par la figure (IV.10.) ci-dessous.

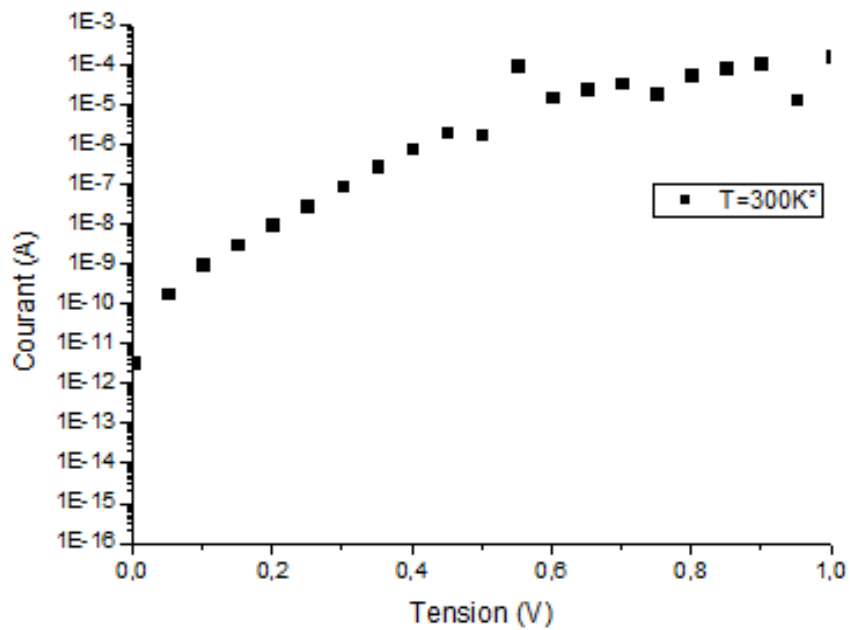


Fig.(IV.10) La caractéristique I(V) pour une température $T = 300\text{K}^\circ$

De la même façon La caractéristique I(V) pour une température de l'ordre de $T=323\text{K}^\circ$ est donnée par la courbe ci-dessous figure (IV.11)

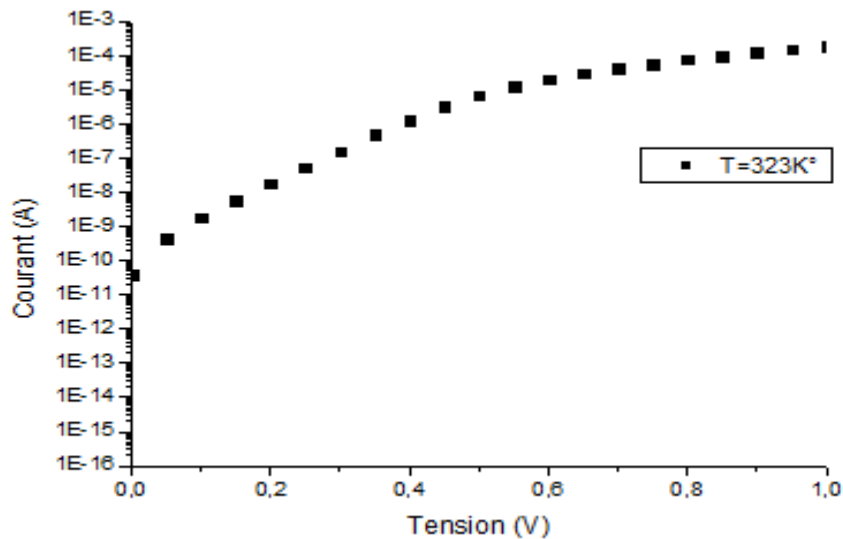


Fig.(IV.11) La caractéristique I(V) pour une température $T = 323\text{K}^\circ$

Le tracé de la dernière température $T=333K^{\circ}$ est aussi donné par la figure (IV.12) qui vient.

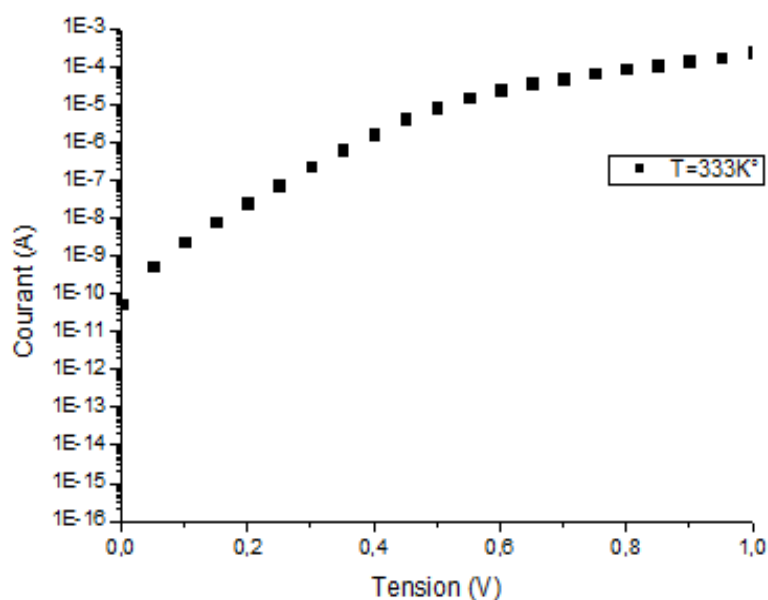


Fig.(IV.12) La caractéristique I(V) pour une température $T = 333K^{\circ}$

Les trois températures mesurées pratiquement sont données par la figure(IV.13)

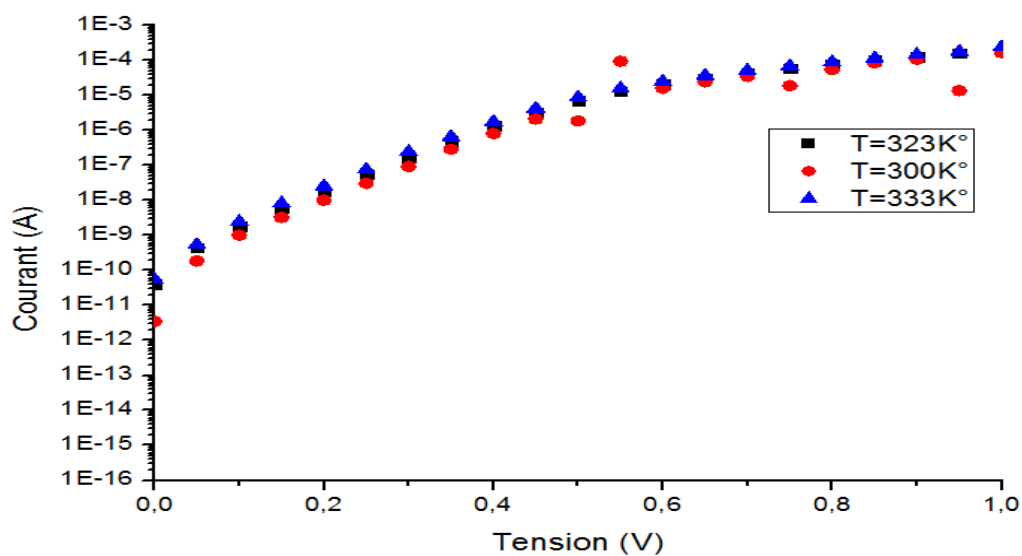


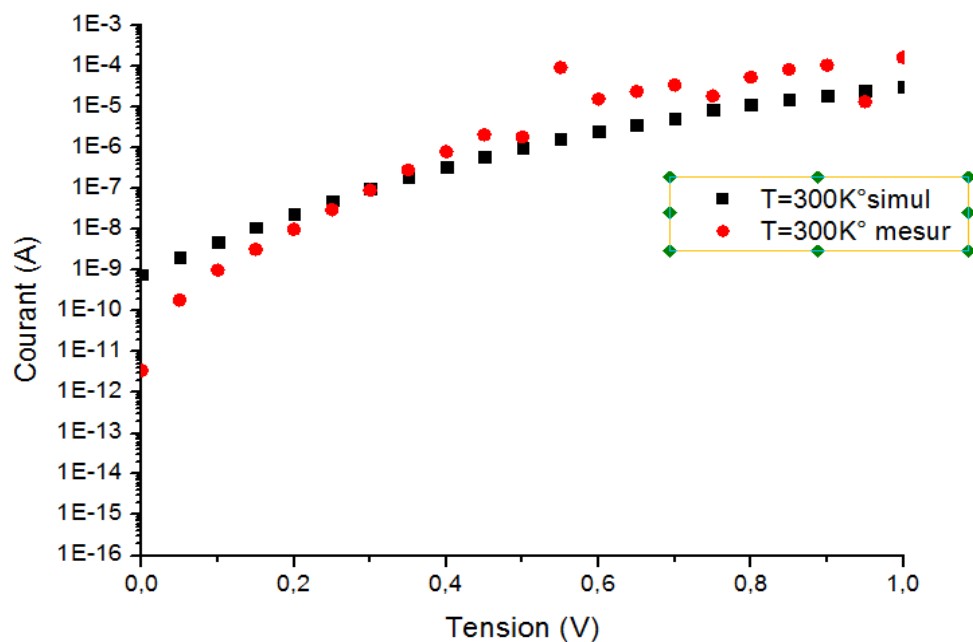
Fig.(IV.13).Caractéristique courant tension de la différente température ($T=333K^{\circ}$; $T=323K^{\circ}$. $T=300K^{\circ}$)

Les courbes des trois températures ont montrés que le courant de saturation augmente progressivement. Leurs valeurs sont comprises entre 10^{-12} et 10^{-10} A.

On remarque aussi que la conduction est meilleure pour ce genre de diode lorsque la température augmente.

Et par une comparaison directe entre les valeurs pratiques et simulées pour les différentes températures on aboutit aux constatations suivantes.

Au début on a besoin de tracé sur une même graphique les différentes courbes simulées par Silvaco et pratiques pour les trois températures séparément et par la suite on regroupe les valeurs des trois températures simulées et pratiques sur une même graphique.



Fig(IV.14) Caractéristiques simulées et pratique pour T=300K°

Pour T=323K° les caractéristiques courant-tension simulées et pratiques sont données par la figure ci-dessous :

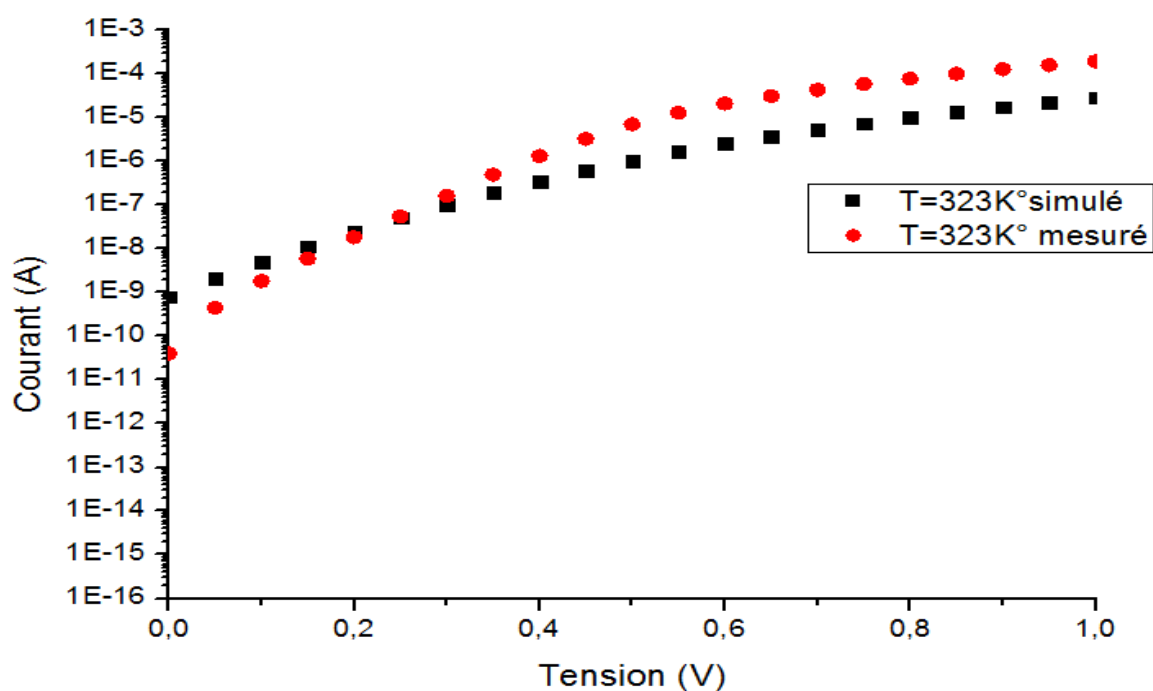


Fig (IV.15) Caractéristiques simulées et pratique pour $T=323K^{\circ}$

De la même façon pour la température $T=333K^{\circ}$, les courbes sont représentées par la figure (IV,16)

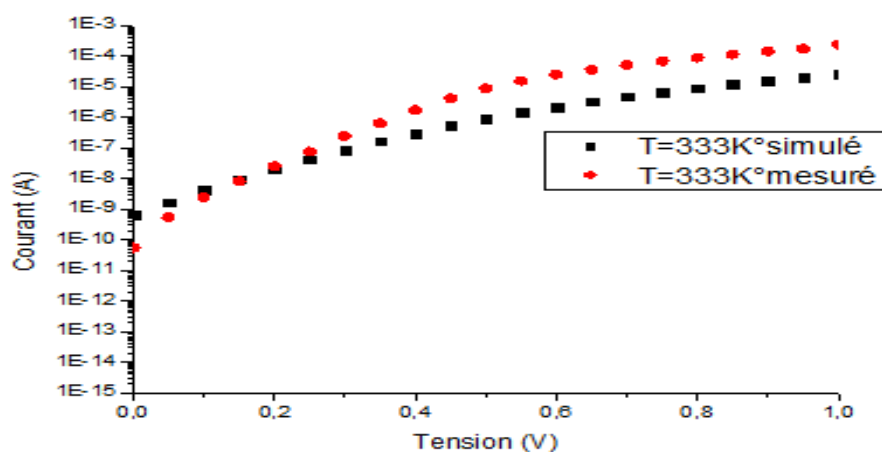


Fig (IV.16) Caractéristiques simulée et pratique pour $T=333K^{\circ}$

En fin les courbes simulées et pratiques sont données sur un seul graphique donné par la figure(IV.17)

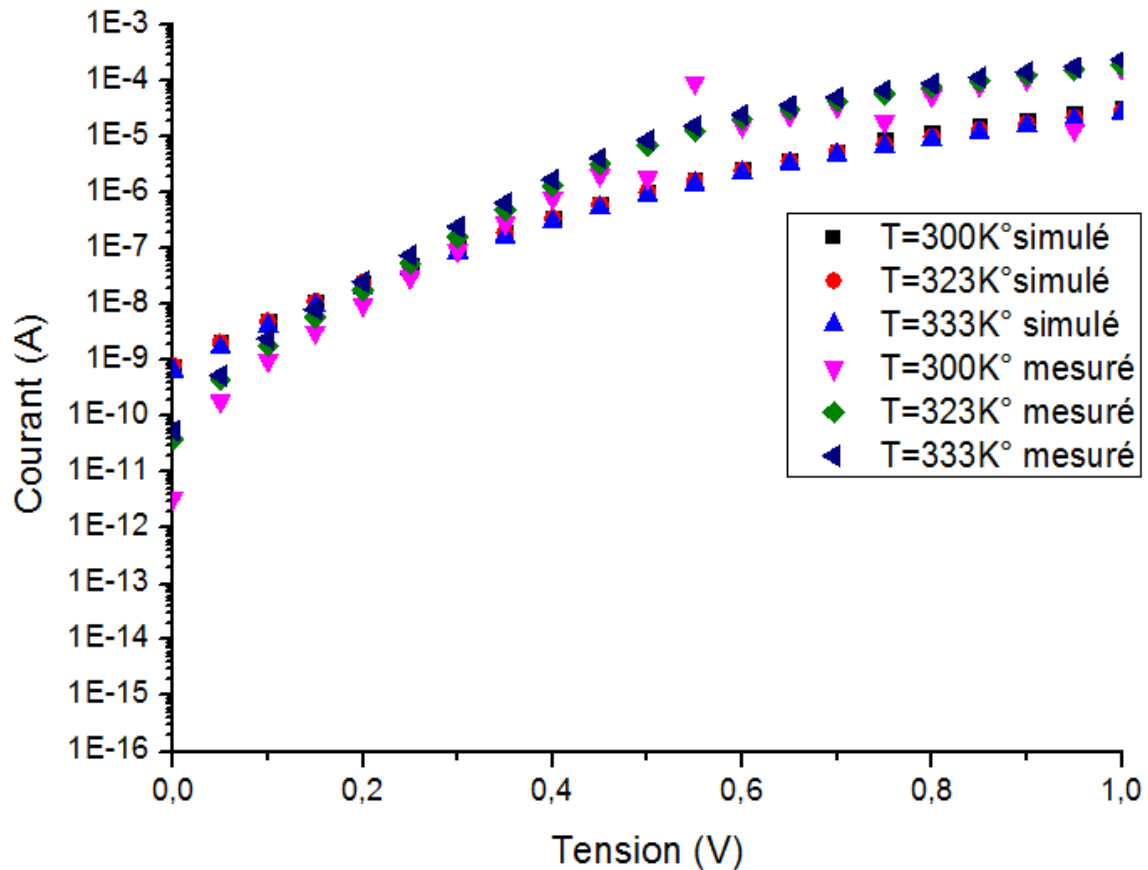


Fig (IV.17) Caractéristiques simulées et pratiques pour des différentes températures

On constate que pour les tensions supérieures à 0.2V la recombinaison augmente due au pièges à électrons ce qui favorise une bonne conduction cela est vu sur les courbes simulées à cause du choix du calcul utilisé pour l'optimisation de la fonction de Poisson.

Dans notre cas nous avons appliquée trois méthodes différentes celle de Gummel et de Newton et BLOCK. Le programme est fait de telle sorte qu'il combine ces trois méthodes et il choisi celle qui donne la meilleur optimisation avec une convergence rapide.

IV.4.Conclusion

Après interprétation des résultats de simulation et pratique on a constaté que la diode polycristalline a une conduction meilleure lorsque la température augmente. Cela peut être expliqué par les pièges à électrons qui laissent que la recombinaison est favorisée.