



جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم الصرفة

حل معادلة بولتزمان للانتقال في اشباه الموصلات ذات حزمة طاقة غير مباشرة

محمود ماجد محمود ضائع الجحيشي

رسالة ماجستير

الفيزياء

بإشراف

الاستاذ المساعد

الدكتور ممتاز محمد صالح حسين

2020 م

1441هـ

المخلص

تعد معادلة الانتقال لبولتزمان من المعادلات الاساسية المستخدمة لحل مسائل انتقال حامل الشحنة (الالكترون، الفجوة) في نبائط أشباه الموصلات. اذ يمكن الحصول على دالة التوزيع من خلال حل هذه المعادلة. تعد دالة التوزيع مهمة في حساب خصائص أشباه الموصلات، التي يمكن استخدامها في حساب متوسط طاقة الإلكترون، وتركيز حامل الشحنة وغيرها من الخواص. تم في هذه الدراسة حل معادلة الانتقال شبه الكلاسيكية لبولتزمان في السليكون باستخدام طريقة تحليلية/عددية في حالة الاتزان في فضاء الزخم. تتطلب الصياغة التحليلية التعبير عن دالة التوزيع باستخدام متعددات حدود لاجندر وذلك بأخذ الحدين الاول والثاني من امتدادات متعددات لاجندر مع الاخذ بنظر الاعتبار تأثير كل من الإستطارة السمعية المرنة و الإستطارة غير المرنة، فضلا عن تأثير تركيب حزمة الطاقة غير المكافئ. باستخدام طريقة الفروق المحددة تم الحصول على الحل العددي لمعادلة بولتزمان و تحويل المعادلة التفاضلية إلى معادلة الفروق الخطية التي يمكن تمثيلها بالمصفوفات. تم تصميم عدة منظومات عددية ذات أبعاد مختلفة $n \times n$ لحساب دالة التوزيع لكل منظومة، وتمت المقارنة بين هذه المنظومات من حيث الدقة عند مجالات كهربائية مختلفة تمتد من منطقة المجالات الواطئة (الاقبل أو تساوي 10 kV/cm) الى منطقة المجالات العالية (الأكبر من 10 kV/cm) ولدرجة حرارة ($T = 300 \text{ K}$) وكذلك تم اجراء حسابات على دالة التوزيع عند درجة حرارة ($T = 77 \text{ K}$) ومقارنة سلوك دالة التوزيع عند المجالات الكهربائية العالية والواطئة، كذلك تم حساب معدل الطاقة و سرعة الانجراف والتحركية للإلكترون لجميع المنظومات ولدرجة حرارة ($T = 300 \text{ K}$) ولمجالات كهربائية مختلفة تمتد من منطقة المجالات الكهربائية الواطئة الى منطقة المجالات الكهربائية العالية، بعد مقارنة نتائج البحوث السابقة مع نتائج المنظومة ذات الحجم ($n = 2000$) ومع نتائج المنظومات العددية ذات حجم مصفوفة $n \times n$ حيث ان ($n = 1000, 800, 500, 400, 200, 100$)، تبين أن الاختيار الأمثل عندما تكون أبعاد المنظومة بين $n = 500$ الى $n = 1000$. كما وجد أن الوقت المستغرق لتنفيذ البرنامج يزداد بشكل ملحوظ عند ($n > 1000$) في حين لا تتأثر دقة الحسابات كثيرا بهذه الزيادة. إن معدل طاقة الالكترون لا يتأثر بزيادة المجال عند المجالات الكهربائية الواطئة لكن يزداد معدل طاقة الالكترون أسيا مع زيادة المجال الكهربائي عند منطقة المجالات الكهربائية العالية، اما سرعة

الانجراف فتزداد بشدة مع زيادة المجال عند المجالات الواطئة ثم تثبت تقريبا مع زيادة المجال عند المجالات العالية. بينت النتائج ان التحركية لا تتأثر بزيادة المجال عند المجالات الواطئة ولكن تقل بشدة مع زيادة المجال عند المجالات العالية. أظهرت النتائج التي حصلنا عليها توافقا جيدا مع النتائج المنشورة التي استخدمت الطريقة نفسها و طرائق اخرى مثل طريقة محاكاة مونتج-كارلو و لمعظم المنظومات المستخدمة في الدراسة.

Abstract

The Boltzmann transport equation is the basic equation which can be used to find the solution of transport problems for charge carriers (electron, hole) in the semiconductor devices, the distribution function can be obtained from the solution of this equation. The distribution function is of considerable importance in the computation of the properties of semiconductor devices, which is used in the calculation of average electron energy and the concentration of charge carrier and other properties. In this study the semiclassical transport equation has been solved in silicon using analytical/numerical method in equilibrium condition in momentum space. The analytical expression requires to express the distribution function as an expansion of Legendre polynomial, by taking the first two terms of Legendre expansion and the effect of both Acoustic intravalley and intervalley scattering as well as the non-parabolic band structure to obtain the numerical solution of Boltzmann equation, the finite difference method has been used to transform the differential equation to system of difference equations which is represented by matrices. Different numerical systems of different matrices size $n \times n$ are used to calculate the distribution function for each system, a comparison between the results of each system has been examined taking into account the accuracy and for different applied electric fields starting from the region of low fields (less than or equal to $10 \frac{kV}{cm}$) up to high field region (greater than $10 \frac{kV}{cm}$) at temperature ($T=300K$). Also similar calculations have been done to find the distribution function at temperature ($T=300K$) and comparing the behavior of the distribution function at the high and low electrical fields. The average electron energy and drift velocity and mobility have been calculated at temperature ($T=300K$) for each matrix system and for different electric fields from low to high field regions, the comparison of the published results with the results obtained in this work with ($n = 2000$) and with the numerical systems with size $n \times n$ ($n = 1000, 800, 500, 400, 200, 100$). The result shows that the optimum choice of matrix size $n \times n$ is from $n=500$ to $n=1000$ and the time consumed in running the computer program is considerably increased as $n > 1000$, the accuracy of the calculation is not changed as n increased. The electron average energy is not affected as the electric field is increased at low field region, but it is increased exponentially as the electrical field is increased in high electric field region, the electron drift velocity is increased as the field is increased in the low electric field region and has

University of Mosul
College of Education
for Pure Sciences



Solving Boltzmann Transport Equation in Semiconductors with an Indirect Band Energy

Mahmood Majed Mahmood Dayei Algehichee

M.Sc. Thesis
Physics

Supervised by
Asst. Prof.
Dr. Mumtaz M. Hussien

2020 A.D.

1441 A.H.