

THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

1. Họ và tên nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Thăng
2. Giới tính: Nam
3. Ngày sinh: 29/01/1978
4. Nơi sinh: Hà Nội
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: 2875/QĐ-ĐHKHTN, ngày 07 tháng 8 năm 2015 của Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội.
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo:
 - Quyết định gia hạn học tập số 4735/QĐ-ĐHKHTN ngày 28/12/2018 và số 569/QĐ-ĐHKHTN ngày 14/02/2020 của Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học Tự nhiên.
7. Tên đề tài luận án: Lý thuyết lượng tử về ảnh hưởng của phonon giam cầm lên các hiệu ứng Hall trong các hệ bán dẫn thấp chiều
8. Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và vật lý toán
9. Mã số: 9440130.01
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học: Hướng dẫn chính: GS. TS. Nguyễn Quang Báo
Hướng dẫn phụ: TS. Lê Thái Hưng
11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:

1. Lần đầu tiên thiết lập phương trình động lượng tử cho hệ điện tử - phonon trong bán dẫn hai chiều (hố lượng tử dưới ảnh hưởng của phonon âm giam cầm và phonon quang giam cầm) thu được biểu thức giải tích cho hệ số Hall và từ trở Hall trong Hố lượng tử. Các kết quả thu được cho thấy sự lượng tử hóa do giảm kích thước trong hố lượng tử ảnh hưởng rất mạnh lên hệ số Hall cũng như từ trở Hall trong hố lượng tử. Sự phụ thuộc của hệ số Hall và từ trở Hall vào các tham số như nhiệt độ của hệ, tần số sóng âm, tần số của bức xạ laser, từ trường ngoài và các tham số cấu trúc của hố lượng tử có nhiều sự khác biệt so với bài toán tương tự trong bán dẫn khối, siêu mạng và hố lượng tử. Sự khác biệt này gây bởi sự khác biệt của thế giam cầm trong hệ thấp chiều.

2. Biểu thức giải tích của từ trở trong siêu mạng pha tạp. Biểu thức này phụ thuộc vào từ trường B , nhiệt độ T , độ dày d , biên độ E_0 của bức xạ laser và chỉ số lượng tử m . Khi cho chỉ số lượng tử m tiến đến 0 ta sẽ thu lại được các tính chất như trong vật liệu khối hai chiều thông thường. Đồ thị khảo sát dao động Shubnikov - De Hass – sự phụ thuộc của từ trở vào từ trường dưới ảnh hưởng của phonon âm giam cầm với tham số của siêu mạng pha tạp GaAs: Be/GaAs: Si. Kết quả cho ta thấy được sự khác biệt giữa bài toán dao động Shubnikov - de Haas trong siêu mạng pha tạp dưới ảnh hưởng của phonon giam cầm và phonon không giam cầm. Các kết quả góp phần hoàn chỉnh lý thuyết, làm phong phú thêm các kết quả cho hiệu ứng động khi xét tới trường hợp có thêm kích thích của trường ngoài.

Kết quả tính toán số cho Hệ số Hall và từ trở Hall trong siêu mạng pha tạp với nồng độ pha tạp khác GaAs:Be/GaAs:Si chỉ ra: sự phụ thuộc của độ dẫn Hall trong siêu mạng pha tạp vào năng lượng

cyclotron khi có mặt sóng điện từ và đặc biệt là khi có ảnh hưởng của phonon âm giam cầm thì xuất hiện nhiều đỉnh cộng hưởng hơn trường hợp không có sóng điện từ và phonon chưa giam cầm.

3. Kết quả tính toán số cho hệ số Hall và từ trở Hall trong dây lượng tử hình trụ với hố thế cao vô hạn GaAs/GaAsAl chỉ ra: cho thấy sự phụ thuộc phi tuyến của hệ số Hall vào cả hai kích thước dây. Kích thước của dây tăng, tính chất dây gần như tính chất bán dẫn khối, khi đó hệ số Hall không phụ thuộc vào kích thước vật liệu. Sự phụ thuộc của hệ số Hall vào tần số sóng điện từ tại các giá trị khác nhau của từ trường. Có thể thấy rằng ở miền tần số nhỏ hệ số Hall phụ thuộc mạnh vào tần số tuy nhiên khi tần số sóng điện từ lớn thì hệ số Hall không còn phụ thuộc vào tần số nữa. Kết quả xuất hiện đỉnh cực đại và giá trị của đỉnh này tăng mạnh khi từ trường tăng; Sự phụ thuộc của hệ số Hall vào từ trường ngoài là phi tuyến trong vùng từ trường mạnh, xuất hiện các giá trị cực đại, cực tiểu và các giá trị các đỉnh này giảm khi nhiệt độ tăng. Kết quả tính toán số hệ số Hall và từ trở Hall trong dây lượng tử hình trụ với hố thế cao vô hạn GaAs/GaAsAl trường hợp tương tác điện tử giam cầm - phonon âm giam cầm; Trong trường hợp phonon giam cầm thì đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của hệ số Hall xuất hiện nhiều hơn một đỉnh cộng hưởng so với trường hợp phonon không giam cầm. Ảnh hưởng của phonon giam cầm tạo nên một tính chất mới cho ten xơ độ dẫn là sự xuất hiện nhiều đỉnh cộng hưởng trong dây lượng tử hình trụ với hố thế cao vô hạn.

12. Khả năng ứng dụng thực tiễn:

Kết quả góp phần vào việc phát triển khoa học công nghệ cao, chế tạo các thiết bị điện tử siêu nhỏ, thông minh và đa năng trên cơ sở Vật lý bán dẫn thấp chiều.

13. Các hướng nghiên cứu tiếp theo:

Các kết quả thu được của luận án có thể mở rộng hướng nghiên cứu hiệu ứng Hall cho hệ bán dẫn không chiều và góp một phần hoàn thiện lý thuyết lượng tử về các hiệu ứng Hall trong hệ bán dẫn một chiều nói riêng và trong Vật lý bán dẫn thấp chiều nói chung.

14. Các công trình công bố liên quan đến luận án:

- [1]. Le Thai Hung, Nguyen Quang Bau, Pham Ngoc Thang (2017) “The Transverse Hall Effect In A Quantum Well With High Infinite Potential In The Influence Of Confined Optical Phonons”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-7, ISSN 2588-1124.
- [2]. Le Thai Hung, Pham Ngoc Thang and Nguyen Quang Bau (2018) “Theoretical investigation of the Shubnikov – de Haas magnetoresistance oscillations in a Quantum well under the influence of confined Acoustic Phonons”, *Journal of science: Key Engineering Materials*, Vol.783, pp. 1-11, ISSN: 1662-9795. (SCOPUS)
- [3]. Pham Ngoc Thang, Le Thai Hung, Do Tuan Long and Nguyen Quang Bau (2019) “Influence of Confined Phonons on the Hall Coefficient in a Cylindrical Quantum wire with an infinite potential (for electron – confined optical phonon scattering)”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, Vol. 35, No. 3, pp. 46 - 51, ISSN 2588-1124.
- [4]. Pham Ngoc Thang, Do Tuan Long and Nguyen Quang Bau (2020) “Theoretical study of the influence of confined phonons and a strong electromagnetic wave on the Hall effect in an

one – dimensional cylindrical quantum wire GaAs/GaAsAl”, *Materials Transactions*, Vol. 61, No. 8, pp. 1468 to 1472, ISSN: 1345-9678. (ISI)

- [5]. Pham Ngoc Thang, Le Thai Hung and Nguyen Quang Bau (2017) “Influence of Confined Acoustic Phonons on the Shubnikov – de Haas Magnetoresistance Oscillations in a Doped Semiconductor Superlattice”, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Physical and Mathematical Sciences*, Vol.11, No:8, pp. 386 - 389, ISNI:0000000091950263.

Ngày 20 tháng 12 năm 2022

Người hướng dẫn luận án

Nghiên cứu sinh

GS. TS. Nguyễn Quang Bái

Phạm Ngọc Thắng

INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

1. Full name: Pham Ngoc Thang
2. Sex: Male
3. Date of birth: 29/01/1978
4. Place of birth: Ha Noi city
5. Admission decision number: 2875/QD-DHKHTN signed on 07/8/2015 by Rector of VNU University of Science.
6. Changes in academic process: Extended time by decision No 4735/QD-DHKHTN signed on 28/12/2018 and 569/QD-DHKHTN signed on 14/02/2020 by Rector of VNU University of Science
7. Official thesis title: *Quantum theory of the effect of confinement phonons on Hall effects in low-dimensional semiconductor systems.*
8. Major: Theoretical Physics and Mathematical Physics
9. Code: 9440130.01
10. Supervisors:
 - 1) Prof. Dr. Nguyen Quang Bau.
 - 2) Dr. Le Thai Hung
11. Summary of the new findings of the thesis

1. For the first time setting up the quantum kinetic equation for the electron-phonon system in two-dimensional semiconductors (quantum well under the influence of confined acoustic phonons and confined optical phonons) to obtain an analytic expression for the coefficient Hall and Hall reluctance in Quantum Well. The obtained results show that the quantization due to size reduction in the quantum well strongly influences the Hall coefficient as well as the Hall reluctance in the quantum well. The dependence of the Hall coefficient and the Hall reluctance on parameters such as the temperature of the system, the frequency of the sound waves, the frequency of the laser radiation, the external magnetic field and the structural parameters of the quantum well have many differences. different from similar problems in bulk semiconductors, superlattices and quantum well. This difference is caused by the difference of confinement potentials in the low-dimensional system.

2. Analytical expression of reluctance in doped superlattice. This expression depends on the magnetic field B , temperature T and amplitude thickness E of the laser radiation and the quantum index m . When the quantum index m approaches 0, we get the same properties as in conventional two-dimensional bulk materials. Graph of the Shubnikov - De Hass oscillation survey - the dependence of the reluctance on the magnetic field under the influence of the acoustic phonon in confinement with the parameter of the doped superlattice GaAs: Be/GaAs: Si. The results show the difference between the Shubnikov - de Haas oscillation problem in the doped superlattice under the influence of confined and unconfined phonons. The results contribute to the completion of the theory, enriching the results for dynamic effects when considering the additional excitation of the external field.

The numerical calculation results for the Hall coefficient and the Hall reluctance in the superlattice doped with doping concentrations other than GaAs:Be/GaAs:Si show: the dependence of the Hall conductivity in the doped superlattice on the cyclotron energy in the presence of electromagnetic waves, and especially in the presence of confined acoustic phonons, more resonance peaks appear than in the absence of electromagnetic waves and unconfined phonons.

3. Numerical calculation results for Hall coefficient and Hall reluctance in cylindrical quantum wire with infinitely high potential GaAs/GaAsAl show that: shows the nonlinear dependence of Hall coefficient on both wire sizes. The size of the wire increases, the wire properties are almost like the bulk semiconductor properties, then the Hall coefficient does not depend on the material size. The dependence of the Hall coefficient on the electromagnetic wave frequency at different values of the magnetic field. It can be seen that in the small frequency domain, the Hall coefficient depends strongly on the frequency, but when the electromagnetic wave frequency is large, the Hall coefficient no longer depends on the frequency. The result appears the maximum peak and the value of this peak increases sharply when the magnetic field increases; The dependence of the Hall coefficient on the external magnetic field is nonlinear in the strong magnetic field region, the maximum and minimum values appear and these peak values decrease with increasing temperature. Calculation results of the number of Hall coefficients and the Hall reluctance in a cylindrical quantum wire with an infinitely high potential GaAs/GaAsAl in the case of confined electron – acoustic confined phonon interaction; In the case of confinement phonons, the graph showing the dependence of the Hall coefficient appears to have more than one resonance peak compared with the case of unconfined phonons. The effect of the confined phonon that gives a new property to the conductance tensor is the production of multiple resonance peaks in a cylindrical quantum wire with infinitely high potential holes.

12. Practical applicability,

The results contribute to the development of high-tech science, fabrication of micro, intelligent and versatile electronic devices on the basis of Low-Dimension Semiconductor Physics.

13. Further researches,

The results obtained in the thesis can expand the research direction of the Hall effect for non-dimensional semiconductor systems and contribute to perfecting the quantum theory of Hall effects in one-dimensional semiconductor systems in particular and in Matter low-dimensional semiconductor management in general

14. Thesis-related publications,

- [1]. Le Thai Hung, Nguyen Quang Bau, Pham Ngoc Thang (2017) “The Transverse Hall Effect In A Quantum Well With High Infinite Potential In The Influence Of Confined Optical Phonons”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-7, ISSN 2588-1124.

- [2]. Le Thai Hung, Pham Ngoc Thang and Nguyen Quang Bau (2018) “Theoretical investigation of the Shubnikov – de Haas magnetoresistance oscillations in a Quantum well under the influence of confined Acoustic Phonons”, *Journal of science: Key Engineering Materials*, Vol.783, pp. 1-11, ISSN: 1662-9795. (SCOPUS)
- [3]. Pham Ngoc Thang, Le Thai Hung, DoTuan Long and Nguyen Quang Bau (2019) “Influence of Confined Phonons on the Hall Coefficient in a Cylindrical Quantum wire with an infinite potential (for electron – confined optical phonon scattering)”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, Vol. 35, No. 3, pp. 46 - 51, ISSN 2588-1124.
- [4]. Pham Ngoc Thang, Do Tuan Long and Nguyen Quang Bau (2020) “Theoretical study of the influence of confined phonons and a strong electromagnetic wave on the Hall effect in an one – dimensional cylindrical quantum wire GaAs/GaAsAl”, *Materials Transactions*, Vol. 61, No. 8, pp. 1468 to 1472, ISSN: 1345-9678. (ISI)
- [5]. Pham Ngoc Thang, Le Thai Hung and Nguyen Quang Bau (2017) “Influence of Confined Acoustic Phonons on the Shubnikov – de Haas Magnetoresistance Oscillations in a Doped Semiconductor Superlattice”, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Physical and Mathematical Sciences*, Vol.11, No:8, pp. 386 - 389, ISNI:0000000091950263.

Date: December 20, 2022

Supervisor

PhD. Student

Prof. Dr. Nguyen Quang Bau

Pham Ngoc Thang