

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА С ЗАРЯЖЕННОЙ ГРАНИЦА КРИСТАЛЛИТОВ В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ МЕТОДОМ ИЗУЧЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ЭФФЕКТА НЕРНСТА- ЭТТИНГСГАУЗЕНА

М. Камолова

Ферганские государственные университет
muhabbatxonkamolova@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В работе приведены механизм взаимодействия носителей заряда с заряженной граница кристаллитов в поликристаллах методом изучения поперечного эффекта нернста-эттингсгаузена. Исследование поперечного эффекта Нернста-Эттингсгаузена является мощным инструментом при определении механизмов рассеяния в полупроводниках и их зонных параметров.

Ключевые слова: *полупроводник, площадь, инверсии, поликристалл, концентрация, электрон, сопротивления, рассеяния, температура, подложки, кристаллит.*

ABSTRACT

The paper presents the mechanism of interaction of charge carriers with a charged crystallite boundary in polycrystals by studying the transverse Nernst-Ettingshausen effect. The study of the transverse Nernst-Ettingshausen effect is a powerful tool in determining the scattering mechanisms in semiconductors and their band parameters.

Keywords: *semiconductor, area, inversion, polycrystal, concentration, electron, resistance, scattering, temperature, substrates, crystallite.*

ВВЕДЕНИЕ

Исследование поперечного эффекта Нернста-Эттингсгаузена является мощным инструментом при определении механизмов рассеяния в полупроводниках и их зонных параметров.

При одновременном изучении поперечного и продольного (термоэдс в сильном магнитном поле) эффекта Нернста-Эттингсгаузена, термоэдс и эффекта Холла с хорошей точностью можно разделить вклады различных механизмов рассеяния и установить температурную и энергетическую зависимости эффективной массы плотности состояний в зонах[1,2,3]. Кроме того часто эффект позволяет идентифицировать влияние граница кристаллитов в поликристаллах на перенос носителей заряда[4].

Объекта исследования использовались пленки $PbTe$, легированные висмутом, обеспечивающего изменение концентрации электронов в широком диапазоне от 10^{18} до $2 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$. Легирование пленок производили введением шихту $PbTe$ квазистехиометрического состава соединения $BiTe$ в различном количестве. Шихту конденсировали на подложки из слюды (мусковит) и полиимидной ленты ПМ-2 по технологии. Пленки имели блочную или поликристаллическую структуру. Особенности получения таких пленок подробно описаны в [5].

ОБСУЖДЕНИЕ

При не очень больших концентрациях электронов параметр Qe/k (Q -коэффициент поперечного эффекта Нернста–Эттингсгаузена) имеет положительный знак, соответствующий рассеянию носителей заряда на акустических фонах, и с ростом концентрации электронов, измеренная посредством эффекта Холла, монотонно убывает. Когда концентрация электронов достигает $n \geq (3-4) \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$ Q инвертирует знак, что свидетельствует о смене механизма рассеяния – доминирующим становится рассеяния на ионизированных примесях. В области очень сильного легирования ($n > 10^{20} \text{см}^{-3}$) Q вновь инвертирует знак с отрицательного на положительный. Экспериментальная зависимость поперечного эффекта Нернста–Эттингсгаузена графически отображена на рис.1. Там же переведена зависимость эффекта от количества легирующей примеси для случая, когда примесью случил атомарный. В этом случае повторной инверсии знака Q не наблюдалось. Это объясняется тем, что при легировании $PbTe$ соединением $BiTe$ и атомарным Bi конфигурация распределения примеси в $PbTe$ различно, что связано с амфотерным действием примеси Bi в $PbTe$. Здесь уместно отметить, что смена знака Q также наблюдалась в пленках $PbTe$ при глубоком легировании примесью иода [8-10]. Однако в таких пленках двойной инверсии знака Q не наблюдалось.

Что касается температурных зависимостей Q , то они претерпевают заметные изменения с ростом n . Если до инверсии знака Q $dQ/dT < 0$, то после инверсии $dQ/dT \geq 0$.

Для обсуждения полученных результатов отметим, что в массивных образцах $PbTe < BiTe >$ и $PbTe < I >$ инверсии знака Q не наблюдается [9]. Сравнивая амплитуды Q до инверсии в массивных и пленочных образцах, можно наблюдать, что в пленках она существенно ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объяснить полученные экспериментальные закономерности можно на основе представлений об электронной структуре граница кристаллитов в пленках, развитых в [2,3,4]. Согласно им, на ГЗ в пленках локализованы акцепторные поверхностные состояния (ПС), энергетический уровень которых расположен в запрещенной зоне. Когда уровень Ферми удовлетворяет условию $E_F > E_S$, ПС заполняются электронами и, если концентрация ПС велика, заполнение происходит до «завязывания» уровня ПС с уровнем Ферми (с точностью до kT). На граница кристаллитов возникает потенциальный барьер, при этом перенос электронов через него становится функцией прозрачности барьера. Если принять аддитивность вкладов носителей заряда в явления переноса в квазинейтральной области кристаллита и в области потенциального барьера граница кристаллитов, то очевидно, что в разных областях кристаллита кинетические коэффициенты формируют электроны с разными энергиями.

Из-за того, что электроны в разных областях пленки имеют отличающиеся энергии (в кристаллитах E_3) и на граница кристаллитов $E_{ГК}$, амплитуда эффекта при фононом механизме рассеяния в пленках будет меньше, чем в объемном монокристалле, что и наблюдается при умеренном легировании пленок. Согласно [12], для рассматриваемого нами случая, чем выше степень легирования пленок, тем большее количество электронов проводимости захватывается на ПС и мощность граница кристаллитов как заряженного рассеивающего центра увеличивается. Наряду с селекцией носителей по энергии заряженная «стенка» граница кристаллитов становится рассеивающим центром. На языке прозрачности потенциального барьера влияние $D(E)$ на токоперенос доминирует над рассеянием на фононах. Изменение механизма рассеяния с фононного на рассеяние ионизированными центрами (отрицательно заряженными дислокациями на граница кристаллитов), приводит к инверсии знака Q , как это предсказывает теория [6].

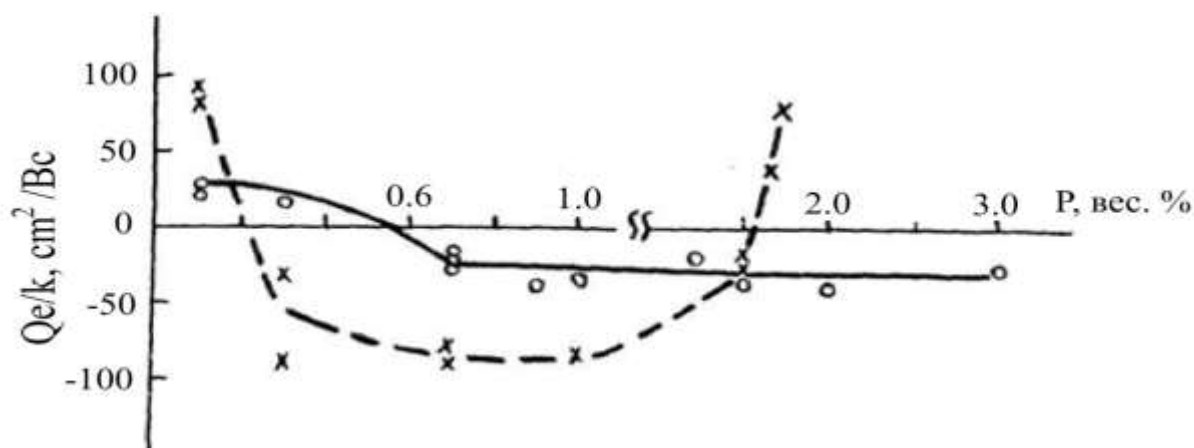


Рис. 1. Зависимости поперечного эффекта Нернста-Эттингсгаузена в пленках PbTe от количества легирующей добавки в исходной шихте:

1- PbTe<Bi>, 2- PbTe<BiTe>.

Таким образом, с физической точки зрения взаимодействие носителей заряда с заряженными граница кристаллитов можно рассматривать как рассеяние на коллективных ионизирующих центрах на граница кристаллитов. Что касается повторной инверсии знака эффекта в пленках *PbTe* <*BiTe*>, здесь уместно следующее объяснение. Несмотря на то, что концентрация ПС на граница кристаллитов достаточно велика, при очень сильном легировании они полностью заполняются и не следуют за уровнем Ферми. При этом электроны, формирующие эффект Нернста-Эттингсгаузена на уровне Ферми перестают «чувствовать» потенциальный барьер, перемещаясь во внешнем поле над ним. Механизм рассеяния вновь становится преимущественно фононным, во второй раз инвертируя знак Q .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поведение кинетических коэффициентов в сильнолегированных пленках при изменении температуры, а также существенное снижение холловской подвижности с ростом n , по-видимому, связано с включением в процесс рассеяния электрон-электронного взаимодействия. Кроме того, нельзя исключать вклад в явления переноса примесных зон, которые образуются при сильном легировании полупроводников с высокой статической диэлектрической проницаемостью [15].

В работах [14-18] обнаружена сильное влияние состояния поверхности на характеристики исследованной МДП-структуры, позволяющее считать, что

значительное число релаксационных особенностей в полуизолирующих тонких пленок PbZnTe:In определяется поверхностными состояниями.

REFERENCES

1. Гольцман Б.М., Дашевский З. М., Кайданов и др. Пленочные термоэлементы: физика и применение // М.: Наука, 1985. - 236 с.
2. Зайнолобидинова, С. М. (2017). ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВКЛАДА ГРАНИЦ ЗЕРЕН В ТОКОПЕРЕНОС В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. *Интеграция наук*, (2), 16-17.
3. Atakulov, S. B., Zaynolobidinova, S. M., Nabiev, G. A., Nabiyev, M. B., & Yuldashev, A. A. (2013). Theory of transport phenomena in polycrystalline lead chalcogenide films. Mobility. Nondegenerate statistics. *Semiconductors*, 47(7), 879-883.
4. Цидильковский И.М. Термомагнитные явления в полупроводниках. // М.: Физматгиз, 1960. -396 с
5. Атакулов Ш.Б., Отажонов С.М. и др. Термоэлектрическая эффективность пленок теллурида свинца при легировании элементами V группы// Физическая инженерия поверхности, 2009-№ 1-2(7)-С.119-122.
6. Ушаков В.В., Клевков Ю.В. Влияние межзеренных границ раздела на свойства теллурида кадмия, полученного в неравновесных условиях// ФТП, 2003, N11(37)- С.1298-1302
7. Зайнолобидинова, С. М., & Хамракулова, М. (2017). МОДЕЛЬ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВЫСОТЫ БАРЬЕРА НА ГРАНИЦА ЗЕРЕН. In *Успехи науки 2017* (pp. 12-15).
8. Atakulov, S. B., Zaynolobidinova, S. M., Otajonov, S. M., & Tukhtamatov, O. A. (2011). The penetrability of potential barrier on grain boundaries in semiconductor polycrystals. *Uzbekiston Fizika Zhurnali*, 13(5), 334-340.
9. Клевков Ю.В., Колосов С.А., Плотников А.Ф.. Транспорт носителей заряда в отожженных крупно- и мелкозернистых поликристаллах CdTe// ФТП, 2006, N9(40).- С. 1028-1032.
10. Атакулов Ш.Б., Коканбаев И.М. Термические и радиационно-стимулированные процессы в поликристаллических пленках халькогенидов свинца. -Ташкент: // Фан,1992. - 96с.
11. Kamolova, M. M., & Usmonov, I. M. (2022). INVESTIGATION OF PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF THIN FILMS BASED ON CDTE. *THEORY AND ANALYTICAL ASPECTS OF RECENT RESEARCH*, 1(5), 241-244.

12. Собиров, М. М. (2021). ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА В ЧИСТОЙ АТМОСФЕРЕ.// *EDITOR COORDINATOR*, 308.
13. Зайнолобидинова, С. М., & Тўйчиева, М. К. (2022). ПОЛИКРИСТАЛЛ СТРУКТУРАЛИ МАТЕРИАЛЛАРДА ЧЕГАРА СОҶАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТРОНЛАРНИНГ КЎЧИРИЛИШИГА ТАЪСИРИ. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(5), 372-374.
14. Egamberdiyevich, O. K., Malikovna, Z. S., Ugli, X. M. B., & Abdusattor-Ugli, E. E. (2021). Used for effect interpretation abnormal photo voltage. *ACADEMICIA: AN INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL*, 11(2), 783-786.
15. Атакулов Ш.Б., Набиев М.Б. и др. Особенности легирования пленок, РbТе элементами V группы//Узб. физ. журнал, 2007.-№ 4(9).-С.247-251.
16. Акимов А.Н., Климов А.Э., Самойлов А.М., Шумский В.Н. и др. Конденсированные среды и межфазные границы: 15(4), 375 (2013).
17. SB Atakulov, AA Yuldashev, SM Zaynolobidinova Influence of scattering by potential barriers of crystallite boundaries on forming kinetic coefficients in semiconductor polycrystals. Nondegenerate statistics// *Uzbekiston Fizika Zhurnali* 14 (4), 227-233
18. SB Atakulov, SM Zaynolobidinova, GA Nabiev, SM Otajonov On the theory of anomalous photoelectric and photomagnetic effects in semiconductor films// *Uzbekiston Fizika Zhurnali* 13 (4), 255-260