

**М.Ю.НИКУЛИНА (3 КУРС, КАФ. ПФОТТ),
С.А.НЕМОВ, Д. Ф.-М.Н.,ПРОФ.**

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ
(НА ПРИМЕРЕ ПОПЕРЕЧНОГО ЭФФЕКТА НЕРНСТА-ЭТТИНСГАУЗЕНА)**

Analyzing kinetic coefficient we can receive useful information about such characteristics of semiconductors as mobility, effective mass, sign of charge carriers etc. This article is devoted to a brief survey of measurement methods the transverse Nernst-Ettingsgauzen effect.

Кинетические коэффициенты связывают компоненты векторов плотности электрического тока и потока энергии с компонентами векторов приложенных внешних полей – электрического, теплового, магнитного. Рассмотрим общие принципы их исследования в полупроводниках на примере определения коэффициента поперечного эффекта Нернста-Эттинсгаузена (ПЭНЭ).

ПЭНЭ состоит в том, что в полупроводнике, при одновременном воздействии на него тепловым и магнитным полями ($H \perp \nabla T$), перпендикулярно градиенту температуры и направлению магнитного поля возникает э.д.с. ($E_{H-\nabla T}$). Напряжение ПЭНЭ определяется выражением $V_V = -QHb \frac{\partial T}{\partial x}$, где Q - коэффициент ПЭНЭ; b - ширина образца.

Для измерений образец помещают между двумя блоками – нагревателем и холодильником - температура на которых определяется с помощью термопар. К боковым граням образца присоединяются зонды для определения напряжения ПЭНЭ, и вся система помещается в однородное магнитное поле так, чтобы силовые линии были перпендикулярны грани образца и градиенту температуры. Подобная схема измерения сопряжена со следующими источниками погрешностей: возникновение термоэ.д.с. из-за эффекта Риги-Ледюка, неоднородное температурное поле за счет теплообмена со средой, конечные размеры контактов и возникновение из-за этого вблизи них циркулярных термоэлектрических токов, теплоотвод по измерительным зондам и термопарам. Рабочая формула для вычисления коэффициента ПЭНЭ: $Q = \frac{\alpha_{ТП} a V_Y}{b V_\alpha H} 10^8$, где α - коэффициент

термоэ.д.с. термопар; a, b - длина и ширина образца; V_α - разность термоэ.д.с. термопар; V_Y - падение напряжения на зондах. Т.о. для определения Q необходимо измерить перепад температуры на образце, напряженность магнитного поля, напряжение ПЭНЭ и размеры образца.

Точность измерения перепада температур определяется схемой включения термопар, точностью их градуировки и их присоединением к образцу. Т.к. температура должна измерять относительно фиксированной точки, то один из спаев термопар термостатируют (например, помещают в жидкий азот). Основным источником ошибок в этом случае являются: теплоотвод по проводам термопар и тепловое сопротивление между термопарами и образцом, если они подсоединены непосредственно к образцу; тепловое сопротивление между блоком и образцом, если термопары впаиваны в блоки нагревателя-холодильника.

Способ, когда термопары впаиваются в блоки, удобен тем, что позволяет быстро производить смену образцов, но при этом измеренный перепад температуры будет завышен.

Для уменьшения теплового сопротивления между образцом и блоками можно: смочить контактирующие поверхности образца и блоков жидкостью с большим коэффициентом теплопроводности (например, индий-галлиевой эвтектикой), тщательно отполировать их и следить за строгой параллельностью, припаять образец к блокам. Наиболее универсальным представляется первый путь, т.к. полировка малоэффективна и, кроме того, хорошо отполировать некоторые образцы с кристаллической структурой затруднительно, т.к. они могут расслоиться. Что касается третьего варианта, то в этом случае теряется основное достоинство данного способа – простота смены образцов.

При измерении температуры непосредственно на образце основной неприятностью является отвод или подвод тепла по термопарам, что особенно существенно для образцов малых размеров и с низкой теплопроводностью. Способы уменьшить эти ошибки могут быть следующие: применять термопарные проволоки малых диаметров, использовать для ветвей термопар материалы с низким коэффициентом теплопроводности, использовать для штифтов материалы с хорошей теплопроводностью, уменьшать градиент температуры на термопарных проволоках, пропускать термопары в фарфоровых трубках через нагреватели и холодильники. Наиболее эффективен последний способ, но его сложно воплотить технически, т.к. необходим хороший тепловой контакт трубочки с блоком и надежный прижим термопары к образцу. Штифты, вставляемые в изотермическое сечение образца, используются для увеличения площади поверхности теплового контакта в образцах с очень низкой теплопроводностью. Что касается уменьшения ∇T , то т.к. количество тепла, отводимого по одной ветви термопары в единицу времени через единицу площади равно $Q = -\chi \nabla T$, то для его уменьшения необходимо уменьшить ∇T , чего можно достичь разумным увеличением длины термопары.

Что касается измерения э.д.с. ПЭНЭ, то, снимая сигнал на зондах, мы получаем, кроме собственно э.д.с. ПЭНЭ, также сигналы, связанные с неизотермичностью зондов, с эффектом Риги-Ледюка (возникновение поперечной разности температур), с циркуляционной э.д.с. (неточечные размеры зондов) и т.п. С этими погрешностями можно было бы бороться с каждой в отдельности (так делают, измеряя, например, эффект Холла), но авторами [2] был разработан гораздо более эффективный метод, позволяющий практически избавиться от всех неточностей разом. Он состоит в том, что образец через диэлектрические прокладки (например, тонкие лавсановые пленки) прижимается к блокам холодильника-нагревателя таким образом, чтобы размер образца в направлении теплового потока был наименьшим. Сигнал ПЭНЭ при этом снимается с зондов, которые проходят через отверстия в блоках и прокладках, и касаются изотермической поверхности образца.

Благодаря хорошей теплопроводности блоков происходит тепловое закорачивание эффекта Риги-Ледюка - т.о. сигнал ПЭНЭ становится практически изотермическим. Т.к. размер образца в направлении теплового потока наименьший, искажения, связанные с окружающей средой, сводятся к минимуму, а зонды-термопары, проходящие внутри образца, обмениваются с ним теплом и практически не искажают тепловое поле вблизи контактов. Кроме того, т.к. контакт осуществляется на изотермической поверхности, то исключаются циркулярные токи. Еще одно достоинство этого метода состоит в том, что он позволяет получить большой сигнал ПЭНЭ, т.к. он пропорционален расстоянию между зондами.

Исследуя ПЭНЭ можно сделать выводы о некоторых свойствах материала, таких, как подвижность носителей, доминирующий механизм рассеяния. Но гораздо более

информативным оказывается исследование сразу нескольких параметров, например ПЭНЭ и эффекта Холла.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.А.Целищев, Ю.А.Ушаков. Методы экспериментального исследования полупроводников. – Ленинград, 1987.
2. Р.Б.Мельник, И.А.Черник, В.А.Целищев, и др. Исследование поперечного эффекта Нернста-Эттинггаузена и других явлений переноса в халькогенидах свинца. – Ленинград, 1968.
3. Л.П.Павлов. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – М., Высшая школа, 1987.
4. Л.С.Стильбанс. Физика полупроводников. – М., Советское радио, 1967.