

конечных элементов выбор точности аппроксимации реальных тел остаётся важной задачей, не имеющей общего решения. В каждом отдельном случае степень аппроксимации и число элементов разбиения должны выбираться исходя из требуемой точности и наличия вычислительных ресурсов (мощности процессора, объёма памяти ПЭВМ и т.д.).

Список использованных источников

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука 1969 г., 744 с.
2. Theorie of ANSYS Manual reference. ANSYS Inc. 1996.

УСТАНОВКА ДЛЯ ЕМКОСТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГЛУБОКИХ ЦЕНТРОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДНЫХ СТРУКТУРАХ

Боднарчук Г.А.

Одной из причин деградации параметров полупроводниковых диодных структур (п.д.с.) (р-п-переходы, диоды Шоттки, МДП структуры) являются примесные и собственные дефекты кристаллической решетки, проявляющиеся на энергетической диаграмме в виде глубоких центров (ГЦ) рекомбинации в запрещенной зоне. При изучении ГЦ все более широкое применение находят емкостные методы измерений /1/. Один из методов – релаксационная спектроскопия глубоких уровней (РСГУ), предложенный впервые в /2/ и известный в зарубежной литературе как DLTS, применяется наиболее широко /3,4/. Емкостная РСГУ основана на измерении барьерной емкости п.д.с. при изменении заполнения электронами или дырками энергетических уровней ГЦ. В предлагаемой установке реализован один из вариантов РСГУ, так называемый, импульсный метод.

Методика измерений

Эквивалентную схему п.д.с. при малом переменном сигнале при обратном смещении можно представить /5/ параллельным соединением барьерной емкости перехода C_{β} и его активного сопротивления R_{β} , последовательно с которыми подключено сопротивление базы R_{β} . Такую схему можно представить в виде параллельно соединённых активной и реактивной эквивалентных проводимостей. Таким образом, измерение барьерной емкости сводится к измерению эквивалентной реактивной проводимости п.д.с.

Информацию о ГЦ (энергия ионизации) получаем из РСГУ путем измерения процесса перезарядки высокочастотной емкости $C(t)$ после переключения п.д.с. от нуля до обратного напряжения U .

Согласно [2] процесс перезарядки емкости в резком $n^+ - p$ - переходе описывается выражением

$$\frac{C_c - C(t)}{C_c} = \frac{N_{\partial.z}}{2N_{\partial.m}} \exp(-t/\tau), \quad (1)$$

где C_c - стационарное значение высокочастотной емкости после перезарядки; $N_{\partial.z}$, $N_{\partial.m}$ - концентрация глубоких и мелких центров (считаем центры донорными); τ - постоянная времени перезарядки.

Измеряя $C(t_1)$ и $C(t_2)$ - значения емкости в начале и в конце окна сканирования, получим (1) в виде

$$\frac{\Delta C_{21}}{C_c} = \frac{N_{\partial.z}}{2N_{\partial.m}} [\exp(-t_1/\tau) - \exp(-t_2/\tau)], \quad (2)$$

где $\Delta C_{21} = C(t_2) - C(t_1)$, $t_2 - t_1$ - ширина окна сканирования.

Постоянная времени перезарядки сильно зависит от температуры и описывается выражением

$$\tau = (\sigma_n b_n T^2)^{-1} \exp\left(\frac{E_c - E}{kT}\right), \quad (3)$$

где E - энергия ГЦ; E_c - энергия нижнего края зоны проводимости; σ_n - сечение захвата электрона; b_n - параметр полупроводника.

Следовательно, значение $\Delta C_{21}/C_c$ также зависит от температуры и имеет максимум при τ_{\max} , T_{\max} . Из (2) следует, что

$$\tau_{\max} = \frac{t_2 - t_1}{\ln(t_2/t_1)}. \quad (4)$$

Рассмотрим уравнение (3). Его можно представить в виде

$$\ln(\tau T^2) = -\ln(\sigma_n b_n) + \frac{(E_c - E)}{kT}. \quad (5)$$

Если пренебречь температурной зависимостью сечения захвата электрона и энергии ионизации, то (5) - уравнение прямой в координатах $\ln(\tau T^2)$, $1/kT$. Тангенс угла наклона этой прямой есть энергия ионизации ГЦ ($E_c - E$). Для ее определения достаточно знать две точки прямой.

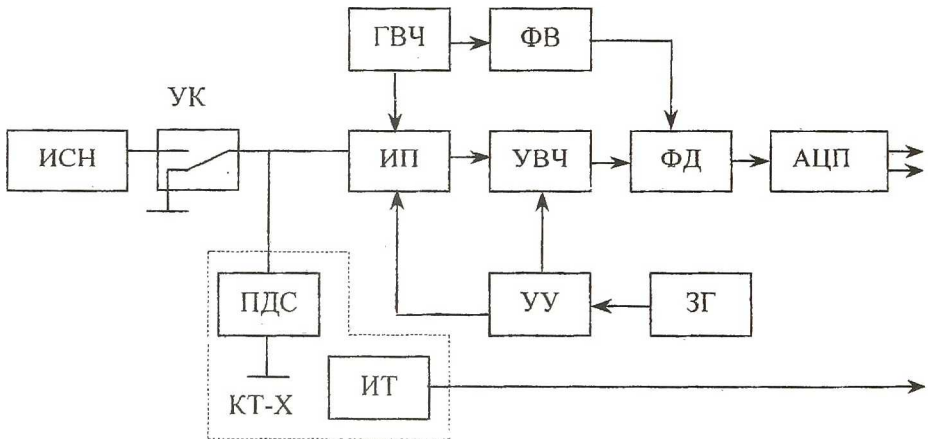
Тогда, методика измерений состоит в следующем. Задаем t_2 и t_1 (окно сканирования). Путем измерений ΔC_{21} при температурном сканировании получаем зависимость $\Delta C_{21}(T)$ и определяем $T_{1\max}$. Значение $\tau_{1\max}$ определяется из (4). Изменяем t_2 и t_1 (необходимо изменить начало и длительность окна сканирования). Производим второе темпера-

турное сканирование и находим $T_{2\max}$ и $\tau_{2\max}$. Используя (5), получаем энергию ионизации $E_c - E$ ГЦ.

Описание установки

Ниже представлена структурная схема установки.

Проследим за ее работой. Исследуемая п.д.с. подключается к входу ИП через УК, в котором осуществляется коммутация напряжения смещения п.д.с. с помощью УУ. Перед измерениями производится ручная балансировка ИП с подключенной к нему обратно смещенной п.д.с. на частоте ГВЧ. Таким образом, к п.д.с. приложено напряжение $U = U_{см} + U_1 \sin \omega t$, причем, $U_1 \ll U_{см}$.



ИСН – источник смещающего напряжения; ГВЧ – генератор высокой частоты; ИП – измерительный преобразователь; ФВ – фазовращатель; УВЧ – усилитель высокой частоты; УУ – устройство управления; ЗГ – задающий генератор; ФД – фазовый детектор; УК – устройство коммутации; КТ-Х – камера тепла холода; ИТ – измеритель температуры;

Рисунок 1 - Структурная схема установки

Измерение может быть разделено на два этапа. Во время первого этапа исследуемая п.д.с. подключается к обратному смещающему напряжению, а во-время второго, - к потенциалу земли. Обратное смещающее напряжение необходимо для перезарядки ГЦ (инжекция носителей заряда). При подключении обратного смещающего напряжения протекает процесс изменения высокочастотной барьерной емкости, описываемый выражением (1). В качестве измерителя комплексной проводимости выбран 2Т-мост, сигнал рассогласования на выходе которого пропорционален величине отклонения полного сопротивления п.д.с. от своего стационарного значения. Его особенностью является отдельная балансировка активной и реактивной составляющей сопротивления. Сигнал рассогласо-

вания ИП усиливается УВЧ и поступает на вход ФД, на другой вход которого поступает опорный сигнал, сдвинутый фазовращателем на 90° относительно фазы ГВЧ. Тогда на выходе ФД мы получаем информацию об изменении C_x . Скорость изменения барьерной емкости зависит от температуры и может быть очень высокой. Сигнал рассогласования ИП мал, и чувствительность УВЧ должна быть высокой. Поэтому, на время перезарядки ГЦ УВЧ закрывается по команде от УУ, а при подаче $U_{обр}$ его каскады открываются. Измеренные значения барьерной емкости в заданные моменты времени [см. (2)] оцифровываются в АЦП и передаются в ИВМ РС. Данные о температуре поступают в компьютер в цифровом виде от ИТ. После осуществления всех измерений при температурном сканировании производится определение энергии ионизации ГЦ.

Список использованных источников

1. Берман Л.С. Емкостные методы исследования полупроводников. Л.: Наука. 1972.- 104 с.
2. Lang D.V. J. Appl. Phys. 1974, 45, p. 3023-3032.
3. Л.С.Берман, А.А.Лебедев Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л.: Наука. 1981.-176 с
4. Торчинская Т.В., Шматов А.А., Строчков В.И., Шейнкман М.К. Преобразование глубоких центров в процессе деградации GaP (N, Zn-O) светоизлучающих диодов. – ФТП, 1986. т.20. в. 4, с.701-707.
5. А.С. 1435163 СССР G 01 R 31/26, H 01 L 21/66. Устройство для спектроскопии переходных процессов глубокого уровня/ Д. Ференци, Я. Бода, Ф. Тот, П. Хорват, Л. Бенкович и Л. Дожа Опубл. 30.10.88. Бюл.№40.
6. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов.- М.: Радио и связь. 1990. – 264 с.

УДК 533.77

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СКОРОСТИ ЧАСТИЦ

Пияков А.В.

Для синхронизации напряжения на трубках дрейфа с положением частицы в ускорительном тракте необходима система регистрации скорости частиц. Данная система жёстко связана с конструкцией ускорителя в целом. Так для проектируемого ускорителя (см. рис.1) с тремя секциями динамического ускорения необходимо 5 датчиков.

В данном случае для регистрации скорости частицы используется пара колец Фарадея (индукционный датчик). Первая и вторая пары колец предназначены для определения удельного заряда частицы. Вторая, третья и четвёртая – для определения скорости частицы при влёте в соответствующую секцию динамического ускорителя. Пятая пара колец Фарадея