

УДК 621.315.592.08

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ
НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА
ПОЛУПРОВОДНИК – ДИЭЛЕКТРИК**

Студ. *Гусалов А. И.*,
асп. *Датиев М. К.*,
проф. *Датиев К. М.*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

Московский институт радиотехники, электроники и автоматики

Одним из наиболее фундаментальных методов изучения поверхностных свойств МДП-структур является метод вольт-фарадных характеристик. Анализ C – V-характеристик МДП-структур позволяет определить плотность поверхностных состояний и их энергетический спектр. Работа посвящена методам исследований поверхностных состояний на основе изучения вольт-фарадных характеристик.

Различают три метода для определения плотности поверхностных состояний: дифференциальный, интегральный и температурный.

Дифференциальный метод (метод Термана) основан на сравнении экспериментальной высокочастотной емкости МДП-структуры и теоретической расчетной емкости идеальной МДП-структуры с такими же величинами толщины окисла и легирующей концентрации в подложке [1]. На (рис. 1) приведены экспериментальная вольт-фарадная характеристика и теоретическая C–V-характеристика, рассчитанная в соответствии с выражением:

$$V_G = V_{FB} + \Psi_s + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} \Psi_s - \frac{Q_{sc}}{C_{ox}}, \quad (1)$$

где V_{FB} – напряжение плоских зон, Ψ_s – поверхностный потенциал, q – заряд электрона, N_{ss} – плотность поверхностных состояний, C_{ox} – ёмкость диэлектрика, Q_{sc} – заряд в области пространственного заряда.

Сравнивая величины напряжений на затворе V_G теоретической и экспериментальной вольт-фарадных характеристик (ВФХ), соответствующих одной и той же емкости (а следовательно, и одному значению поверхностного потенциала Ψ_s), из соотношения (1) получаем выражение для изменения напряжения на затворе ΔV_G :

$$\Delta V_G = V_{G\text{эксп}} - V_{G\text{теор}} = V_{FB} + \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} \Psi_s. \tag{2}$$

Графическим дифференцированием кривой (2) получаем:

$$N_{ss} = \frac{\epsilon_{ox} \epsilon_0 d (V_{G\text{эксп}} - V_{G\text{теор}})}{qd_{ox} d\Psi_s}, \tag{3}$$

где ϵ_{ox} – относительная диэлектрическая проницаемость окисла, ϵ_{ox} – диэлектрическая постоянная, d_{ox} – толщина подзатворного диэлектрика.

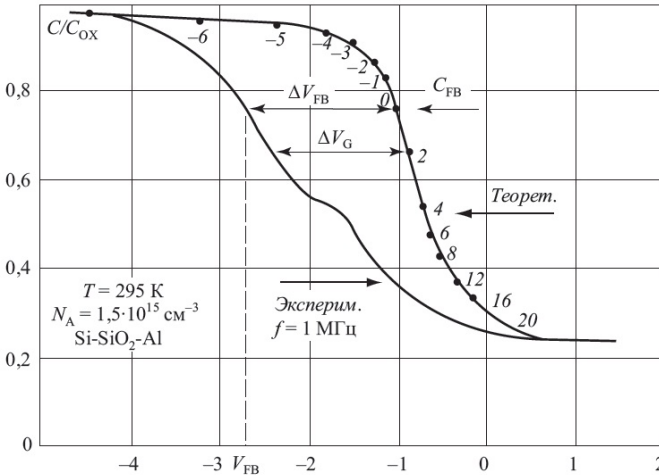


Рис. 1. Экспериментальная и теоретическая ВФХ для МДП-системы Si – SiO₂ – Al.

Метод, основанный на анализе соотношения (2), довольно широко распространен, прост и не требует громоздких выкладок. К недостаткам этого метода необходимо отнести тот факт, что

зависимость плотности поверхностных состояний N_{ss} от энергии E получается только в одной половине запрещенной зоны вблизи уровня Ферми [1].

Интегральный метод (метод Берглунда) основан на анализе равновесной низкочастотной C - V -характеристики, описываемой выражением:

$$\Psi_s - \Psi_{si} = \int_{V_{Gi}}^{V_G} \left(1 - \frac{C}{C_{ox}} \right) dV_G. \quad (4)$$

Интегрирование уравнения (4) позволяет установить связь между поверхностным потенциалом и напряжением на затворе V_G . На (рис. 2) приведена экспериментальная и равновесная ВФХ МДП-системы Si – SiO₂ – Al.

Из выражения (1) можно легко определить концентрацию поверхностных состояний:

$$N_{ss} = \frac{\epsilon_{ox} \epsilon_0}{qd_{ox}} \left(\frac{C/C_{ox}}{1 - C/C_{ox}} - \frac{C_{sc}}{C_{ox}} \right), \quad (5)$$

где C_{sc} – ёмкость области пространственного заряда.

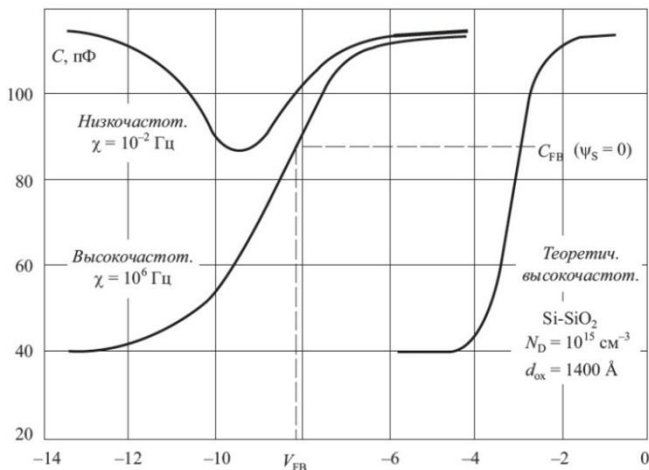


Рис. 2. Экспериментальная и равновесная ВФХ МДП-системы Si – SiO₂ – Al.

Соотношение (5) даёт возможность определить величину и закон изменения плотности поверхностных состояний по всей ширине запрещенной зоны, что является несомненным преимуществом интегрального метода по сравнению с дифференциальным [2].

Температурный метод (Грея – Брауна) основан на анализе изменения напряжения плоских зон V_{FB} МДП-структуры при изменении температуры T . На (рис. 3) приведены экспериментальные $C-V$ -кривые при различных температурах.

Из выражения для напряжения плоских зон V_{FB} следует, что при изменении температуры

$$V_{FB}(T_1) - V_{FB}(T_2) = \frac{qN_{ss}}{C_{ox}} [\varphi_0(T_1) - \varphi_0(T_2)], \tag{6}$$

где φ_0 – расстояние от уровня Ферми до середины запрещённой зоны в квазинейтральном объёме полупроводника.

Графическое дифференцирование соотношения (6) приводит к выражению для N_{ss} :

$$N_{ss} = \frac{\epsilon_{ox}\epsilon_0 d(\Delta V_{FB})}{d(\Delta \varphi_0)}. \tag{7}$$

Основным достоинством температурного метода является то, что он позволяет получить величину плотности поверхностных состояний N_{ss} вблизи краев запрещенной зоны.

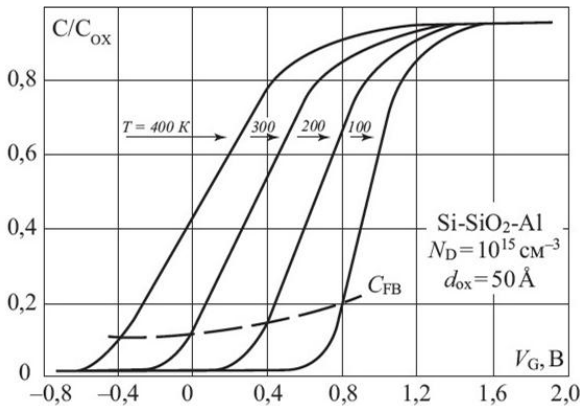


Рис. 3. Экспериментальные высокочастотные ВФХ МДП-структур Si – SiO₂ – Al при различных температурах T .

К недостаткам метода следует отнести необходимость измерений в широком интервале температур $T = (77 \div 400)$ К и трудность расчета, а также необходимость выполнения критерия высокочастотности в широком диапазоне температур [2].

В настоящее время проводится отработка методики экспериментального исследования вольт-фарадных характеристик МДП – структур на основе кремниевых МДП-транзисторов с изолированным затвором на базе установки [3]. Результаты исследования будут представлены к печати позднее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зи С. М.* Физика полупроводниковых приборов / Пер. с англ. Под ред. А. Ф. Трутко. М.: Энергия, 1973.
2. *Гуртов В. А.* Твердотельная электроника: Учеб. пособие. 2-е изд., доп. М.: Техносфера, 2005.
3. *Мурадян Э. Э. Датиев К. М.* Прибор для измерения вольт-фарадных характеристик $p-n$ -переходов различных полупроводниковых приборов // Труды молодых ученых ВНЦРАН и Правительства РСО-Алания. 2013. № 1.



УДК 621.315

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА PIC16F628A

Студ. *Гуриев И. И.*,
доц. *Тебиева С. А.*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический институт),
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

Данное устройство предназначено для измерения пульса на пальце человека методом инфракрасного излучения. Прибор оснащён цифровой индикацией и прочным корпусом. Он имеет точность измерения, и очень прост в использовании. Благодаря простоте эксплуатации и скорости измерения прибор можно использовать даже во время тренировок, бега и езды на велосипеде. Также прибор можно применять в медицинских учреждениях для постоянного контроля пульса.