

УДК 538.9

ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИМПЕДАНСА СТРУКТУР «МЕТАЛЛ — ДИЭЛЕКТРИК — ПОЛУПРОВОДНИК» СО СВЕРХТОНКИМ ОКСИДОМ

К. ф.-м. н. Е. И. Гольдман, А. И. Левашова, С. А. Левашов, В. Г. Нарышкина,
д. ф.-м. н. Г. В. Чучева

Фрязинский филиал ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН
Россия, г. Фрязино
gvc@ms.ire.rssi.ru

На примере структуры «металл–оксид–полупроводник» с параметрами: полевой электрод $Al-n^+-Si:P$ (концентрация доноров $N_d^+=10^{20} \text{ см}^{-3}$, площадь затвора $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$), изолированный от n -Si-подложки ($N_d^+=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) слоем пирогенного 4 нм оксида, показано, что измерения активной и емкостной компоненты на двух высоких частотах позволяют достаточно точно определить емкость полупроводника и сопротивление базы.

Ключевые слова: структура металл-диэлектрик-полупроводник, сверхтонкий оксид, емкость и проводимость МДП-структур.

Одним из наиболее распространенных методов изучения свойств структур «металл–диэлектрик–полупроводник» (МДП) является C - V -метод [1]. В случае оксидов с толщиной более 5 нм активное сопротивление диэлектрика гораздо больше сопротивления базы, и падением напряжения на ней можно пренебречь. Для тонких и, особенно, сверхтонких (менее 4 нм) изолирующих слоев ситуация более сложная, так как туннельная проводимость оксида достаточно велика и сравнима с проводимостью базы. Поэтому высокочастотных данных о емкости и проводимости структуры, измеренных на одной частоте, недостаточно. Для преодоления этих трудностей используют зависимость импеданса от частоты. Проводятся измерения активной и емкостной составляющих на двух частотах, тем самым увеличивая число измеряемых параметров в два раза [2]. Для определения сопротивления базы, туннельной проводимости, поверхностного изгиба зон и стимулированного туннелированием тока рождения электронно-дырочных пар этих данных достаточно. В связи с этим исследовались n -Si-МОП-структуры со сверхтонким оксидом двухчастотным методом при комнатной температуре с параметрами: полевой электрод (ПЭ) $Al-n^+-Si:P$ (концентрация доноров $N_d^+=10^{20} \text{ см}^{-3}$, площадь ПЭ $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$), изолированный от n -Si-подложки ($N_d^+=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) слой пирогенного 4 нм SiO_2 . На рис. 1 представлены графики измерений временных зависимостей емкости $C(t)$ и проводимости $\Omega(t)$. Измерения проводились в едином цикле для обеих частот 800 кГц и 1 МГц на автоматизированной экспериментальной установке при напряжении на ПЭ $V_g = -3,2 \text{ В}$. Результаты фиксировались поочередно для каждой частоты через 0,6 с.

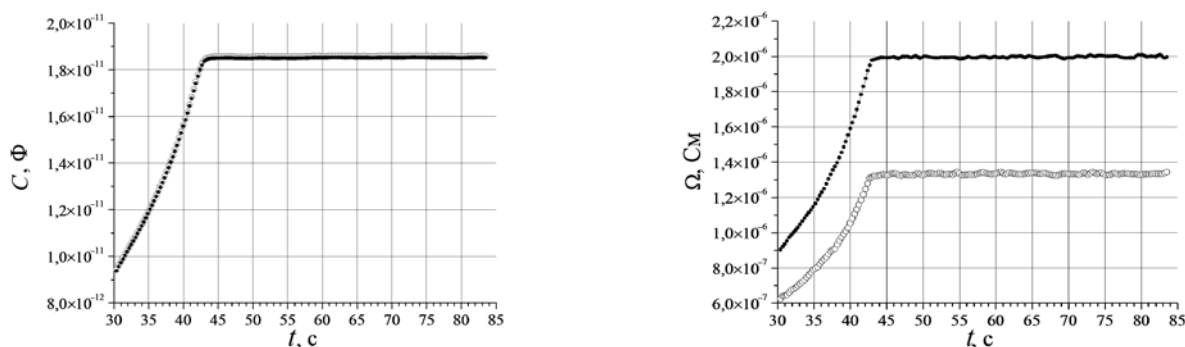


Рис. 1.

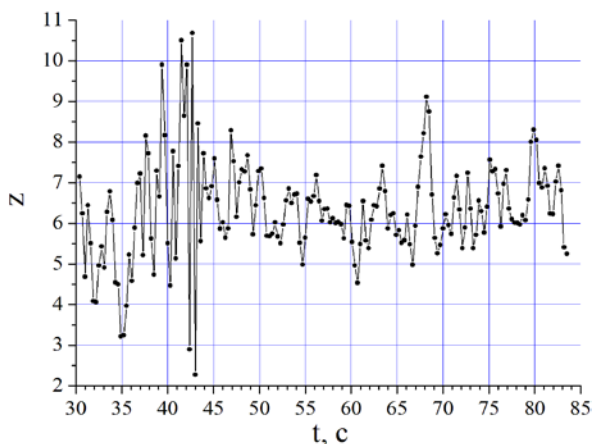


Рис. 2.

Из рис. 1 следует, что достаточно гладкие экспериментальные зависимости от времени $C(t)$ и $\Omega(t)$ приводят к сильно зашумленной кривой $z(t)$, где $z = \sigma_t / (\omega_1 C_i)$; σ_t – дифференциальная туннельная проводимость оксида, ω_1 — меньшая частота измерений; C_i – емкость оксида (рис. 2). Дело в том, что для толщины изолирующего слоя около 4 нм типична ситуация, когда высокочастотный емкостной ток превалирует над туннельным. Используя процедуру [3], имеем в безразмерном виде для x (емкость полупроводника $x = C_s / C_i$) и k_b (сопротивление базы $k_b = \omega_1 \rho_b C_i$) (рис. 3) зависимости от времени. Из них явствует, что x и k_b определяются достаточно точно.

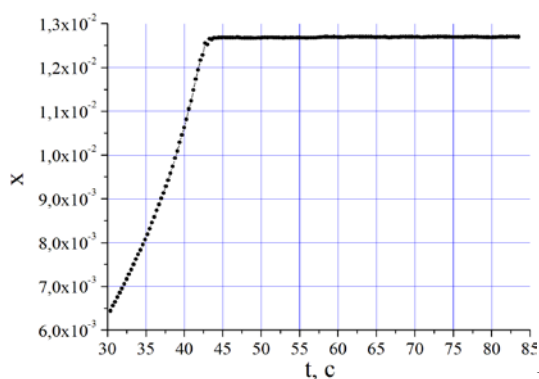
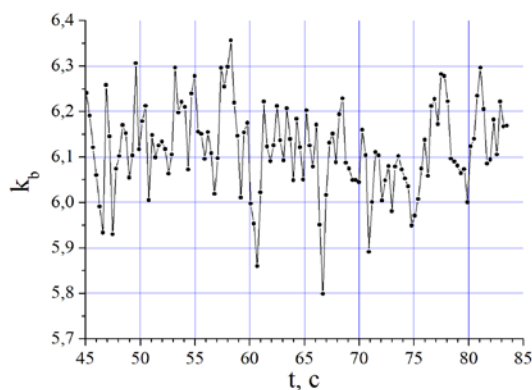


Рис.3.



Работа выполнена при частичной поддержке проектов РФФИ № 12-07-00662-а, № 13-07-00782-а и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов».

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Sze S. M., Knok K. Ng. Physics of semiconductor devices // N. J., Wiley-Interscience.– 2007.– P. 815.
2. Guenther K.-M., Witte H., Krost A., Kontermann S., Schade W. Extracting accurate capacitance voltage curves from impedance spectroscopy // Appl. Phys. Lett.– 2012.– Vol. 100.– N 4.– 042101.
3. Гольдман Е. И., Левашова А. И., Левашов С. А., Нарышкина В. Г., Чучева Г. В. Особенности высокочастотных измерений импеданса МДП-структур со сверхтонким окислом // Тринадцатая международная конференция «Физика диэлектриков» (Диэлектрики-2014). Россия, Санкт-Петербург.– 2014.

E. I. Goldman, A. I. Levashova, S. A. Levashov, V. G. Naryshkina, G. V. Chucheva

RF impedance measurement of metal-insulator-semiconductor structures with the ultrathin oxide.

Using a metal-oxide-semiconductor structure as example, the authors have shown, that measurements of active and capacitive components for two high frequencies allow accurate determination of the semiconductor capacitance and base resistance. The metal-oxide-semiconductor structures used in the research had the following parameters: the field electrode Al- n^+ -Si: P (donor density of $N_d^+ = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, gate area of $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$), isolated from the n -Si substrate ($N_d^+ = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) by a 4 nm layer of pyrogenic oxide.

Keywords: *metal-dielectric-semiconductor structure, ultrathin oxide, capacitance and conductivity of MIS-structure.*