

# Влияние фтора на плотность состояний на границе раздела собственный (анодный) оксид/ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$

М.С. Аксенов<sup>1)</sup>, Н.А. Валишева<sup>1)</sup>, А.П. Ковчавцев<sup>1)</sup>

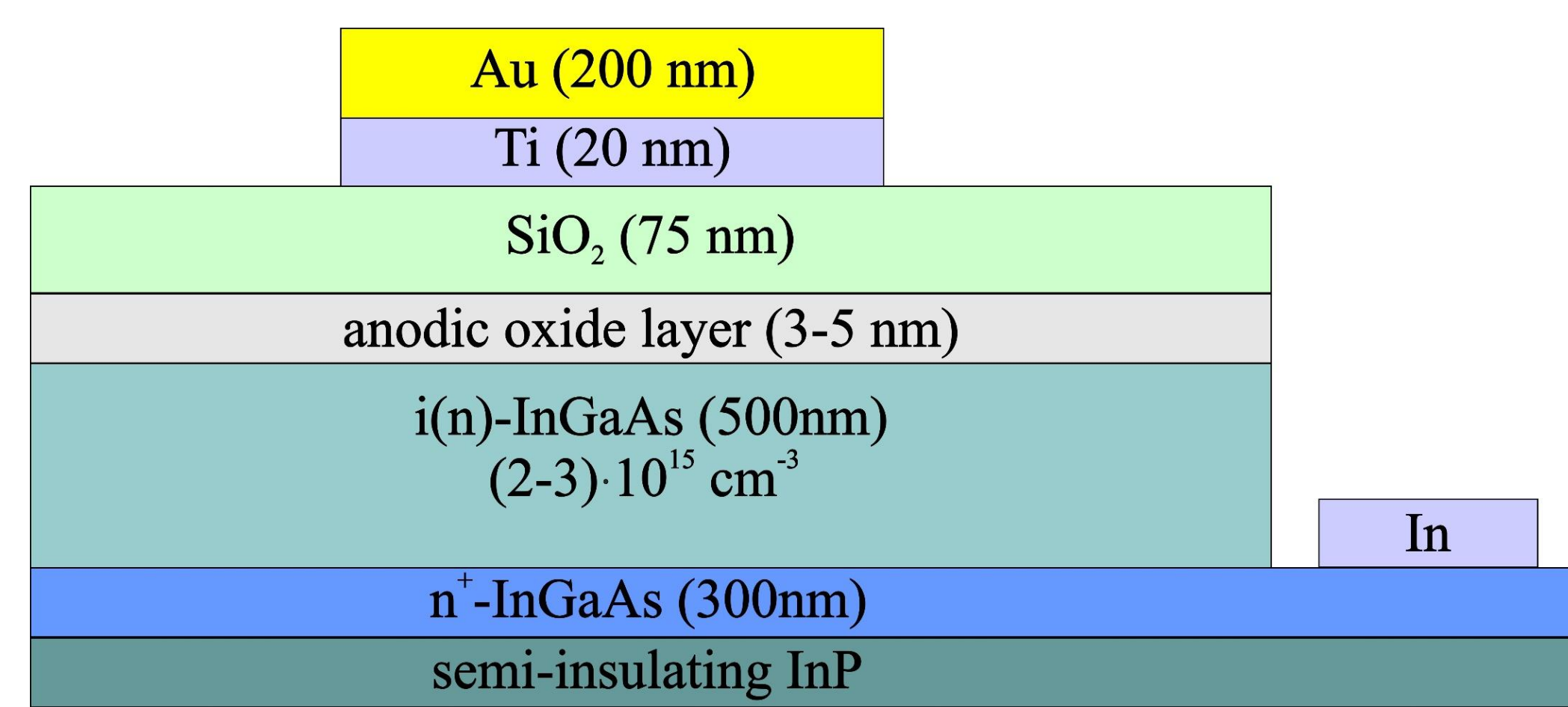
<sup>1)</sup>Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. ак. Лаврентьева, 13



## Введение

Тройное соединение  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  применяется при изготовлении металл-оксид-полупроводник (МОП) транзисторов (MOSFET) с высокой подвижностью электронов. Одним из основных требований при реализации таких структур на основе полупроводников  $\text{A}^3\text{B}^5$ , и  $\text{InGaAs}$ , в частности, является низкая плотность электронных состояний на границе раздела ( $D_{it}$ ) диэлектрик/полупроводник [1]. Влияние фтора на электронные свойства границ раздела диэлектрик/ $\text{InGaAs}$  изучалось только в работах [2, 3], в которых отмечалось улучшение электронных свойств границ раздела  $\text{HfO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{InGaAs}$  после обработки в ВЧ-плазме  $\text{CF}_4$  с последующим отжигом. При этом данные о влиянии фтора на электронные свойства границы раздела собственный оксид/ $\text{InGaAs}$ , которая в большинстве случаев определяет электронные свойства границ раздела диэлектрик/ $\text{A}^3\text{B}^5$ , сформированной *ex situ* методами, полностью отсутствуют.

Целью данной работы являлось изучение влияния фтора при анодном окислении поверхности  $\text{InGaAs}$  в газоразрядной плазме и температуры отжига на плотность интерфейсных состояний в  $\text{Au}/\text{SiO}_2/\text{анодный оксидный слой (АОС)}/\text{InGaAs}$  металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) структурах.



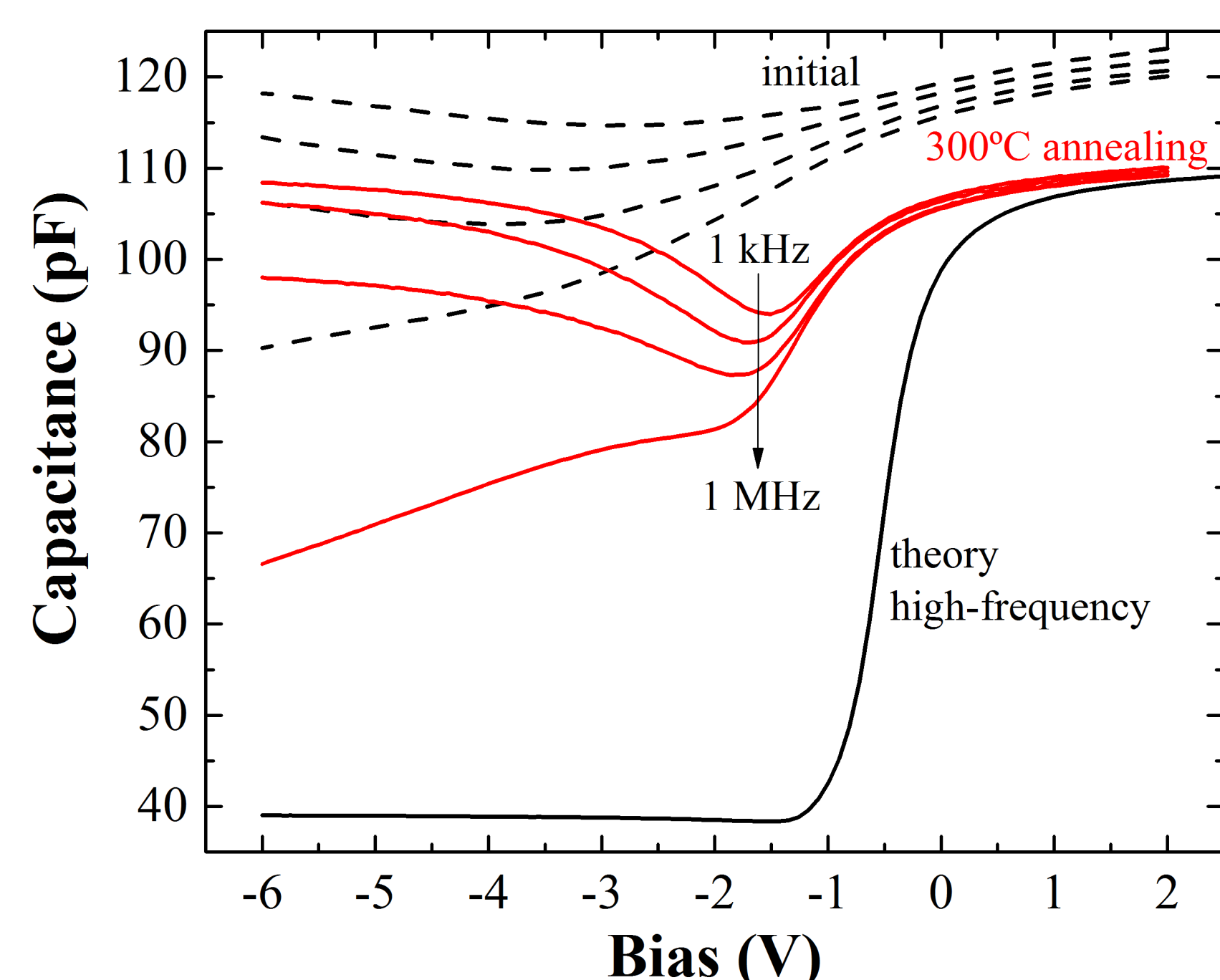
## Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступали МДП-структуры представленные на рисунке. Анодные слои формировались в таунсендовской газоразрядной плазме [4] ( $\text{Ar}:\text{O}_2=4:1$  и  $\text{Ar}:\text{O}_2:\text{CF}_4=7:2:1$ ) после обезжиривания образцов в диметилформамиде и удаления естественного оксида в растворе  $\text{HCl}$ (концентрированная): $\text{H}_2\text{O}=1:10$ . Круглые затворы из слоев  $\text{Au}/\text{Ti}$  (200/10 нм) площадью  $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$  изготавливались напылением через маску. Омический контакт из индия к  $n^+$ - $\text{InGaAs}$  слою формировался при  $200^\circ\text{C}$  после удаления  $i$ - $\text{InGaAs}$  слоя.

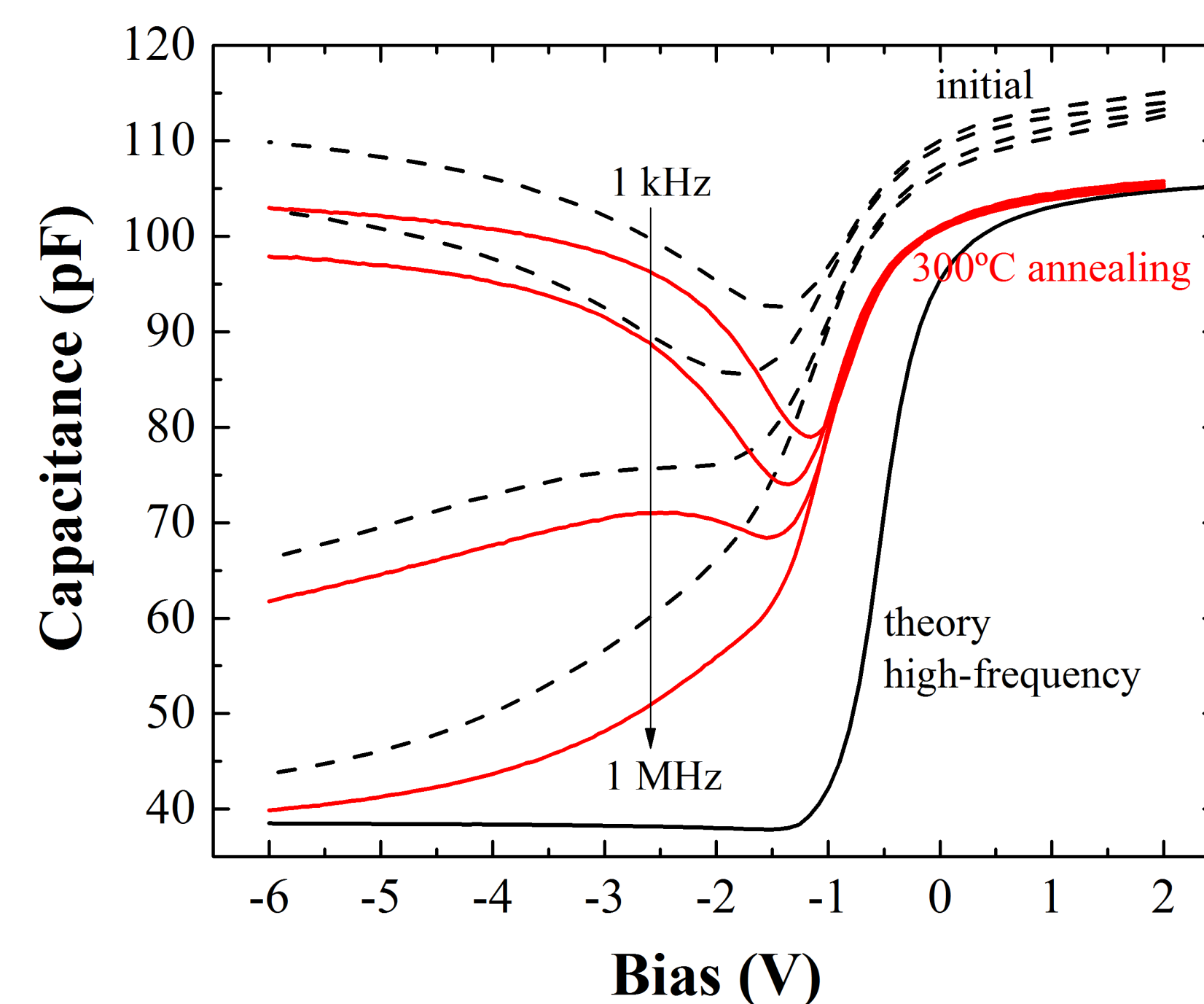
Отжиг образцов проводился в проточной кварцевой камере в формовочном газе (95%  $\text{N}_2$ , 5%  $\text{H}_2$ ) при  $300^\circ\text{C}$  (3 мин.),  $350^\circ\text{C}$  (1 мин.) и  $400^\circ\text{C}$  (1 мин.). Частотные зависимости вольт-фарядных характеристик (ВФХ) МДП-структур измерялись с помощью анализатора импеданса Keysight B1500A. Методика расчета теоретических ВФХ в предположении отсутствия интерфейсных состояний подробно описана в работе [5].

## Основные результаты и выводы

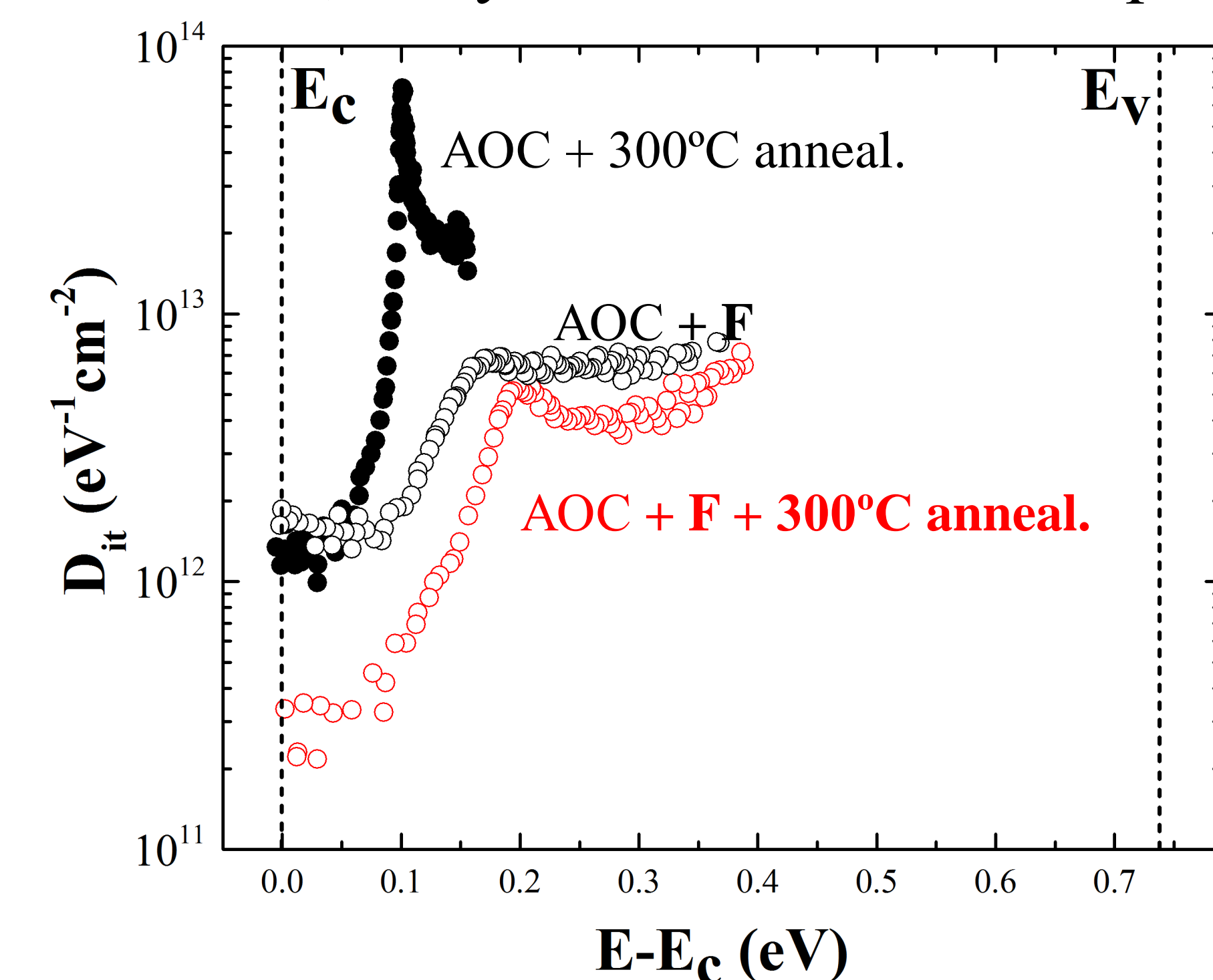
ВАХ МДП-структур с АОС без фтора



ВАХ МДП-структур с АОС со фтором



Распределения  $D_{it}$  в запрещенной зоне  $\text{InGaAs}$ , полученные методом Термана



Показано, что наличие АОС, подобного собственному, на границе раздела  $\text{SiO}_2/n\text{-InGaAs}$  приводит к плотности состояний более  $10^{13} \text{ эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$  и закреплению уровня Ферми на интерфейсных состояниях не зависимо от температуры последующего отжига. Формирование фторсодержащего АОС на поверхности  $\text{InGaAs}$  обеспечивает открепление уровня Ферми на границе раздела. Отжиг при температуре  $300^\circ\text{C}$  приводит к дополнительному улучшению качества границы раздела, при этом плотность интерфейсных состояний в данном случае вблизи  $E_c$  и середины запрещенной зоны составляет (3-4)  $10^{11}$  и (4-5)  $10^{12} \text{ эВ}^{-1}\text{см}^{-2}$ , соответственно. Дальнейшие отжиг при температуре  $350^\circ\text{C}$  приводили к обратному эффекту и увеличению плотности состояний, а при  $400^\circ\text{C}$  эффект влияния фтора практически полностью устранялся.

[1] R. Engel-Herbert et al., *J. Appl. Phys.*, **108**, 124101 (2010),  
 [2] Y.-T. Chen et al., *Appl. Phys. Lett.*, **96**, 103506 (2010).  
 [3] Y.-T. Chen et al., *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 013501 (2009).  
 [4] M.S. Aksenov et al., *Appl. Phys. Lett.*, **107**, 173501 (2015).  
 [5] A.P. Kovchavtsev et al., *J. Appl. Phys.* **118**, 125704 (2015).