

Исследование электрофизических свойств границы раздела CdHgTe и Al₂O₃, выращенного при разных температурах.

Краснова И.А.^{1,2}, Горшков Д.В.¹, Сидоров Г.Ю.¹, Марин Д.В.¹, Сабина И.В.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

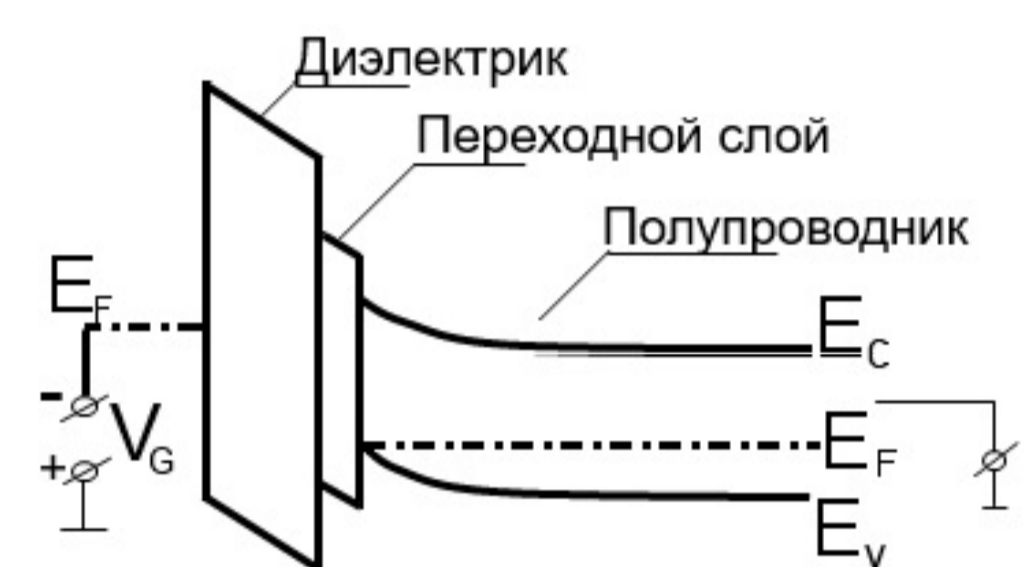


Введение

При изготовлении фотоприемников инфракрасной области спектра перспективным материалом является твердый раствор кадмий-ртуть-теллур (КРТ) [1]. Для данного материала хорошим пассивирующим покрытием является оксид алюминия (Al₂O₃), выращенный методом плазменно-индуцированного атомно-слоевого осаждения (ПАСО) [2-3]. Но при нанесении Al₂O₃ на КРТ возникают сложности при выборе температуры роста. С одной стороны, при нагревании КРТ в вакууме до температуры выше 80°C, с поверхности КРТ испаряется ртуть [4], что приводит к изменению состава приповерхностного слоя и нарушению его структуры. С другой стороны, для изготовления диэлектрической пленки наилучшего качества желательно производить рост Al₂O₃ при температуре 200-300°C [5]. Ранее в литературе исследовались параметры пассивирующего покрытия Al₂O₃ [2-3, 6], однако эти работы были выполнены только с диэлектриком выращенном при температуре 120°C. Таким образом, целью данной работы является изучение свойств пассивирующего покрытия Al₂O₃, выращенного при различных температурах роста на КРТ.

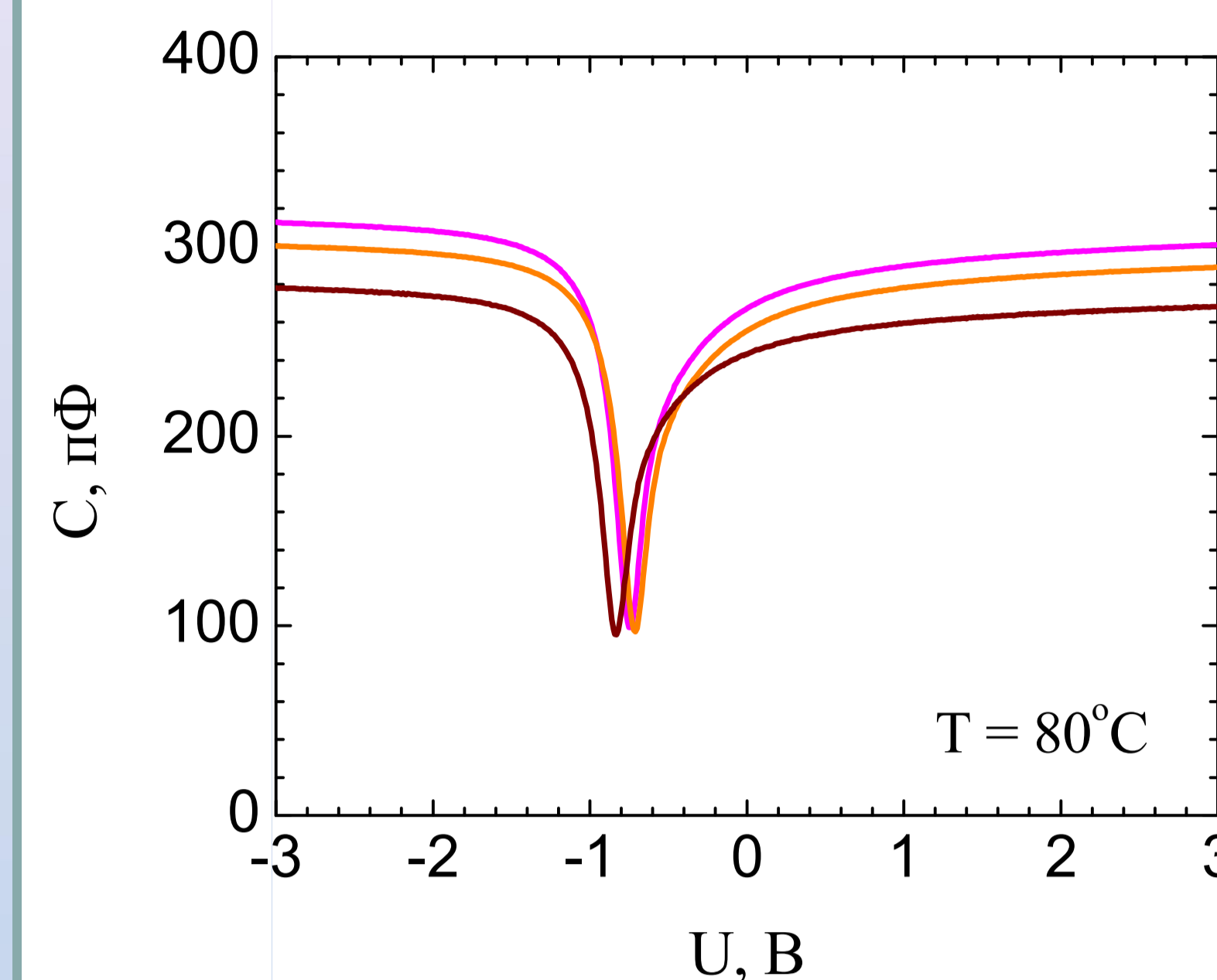
Образцы и методика

Эксперименты проводились на образцах КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, с составом $x=0.22$, которые отжигались в р-тип с концентрацией дырок $9.6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Диэлектрик наносился методом ПАСО, в качестве прекурсора использовался триметилалюминий (ТМА). Температуры роста диэлектрика составляли 80, 120, 160 и 200°C. Затем на диэлектрик наносился металлический контакт методом термического испарения. В результате этого получались МДП структуры, причем на одном образце находится около 200 таких структур. На полученных структурах измерялись *вольт-фарадных характеристики (ВФХ)* при температуре 77°K в области низких частот (10 кГц).

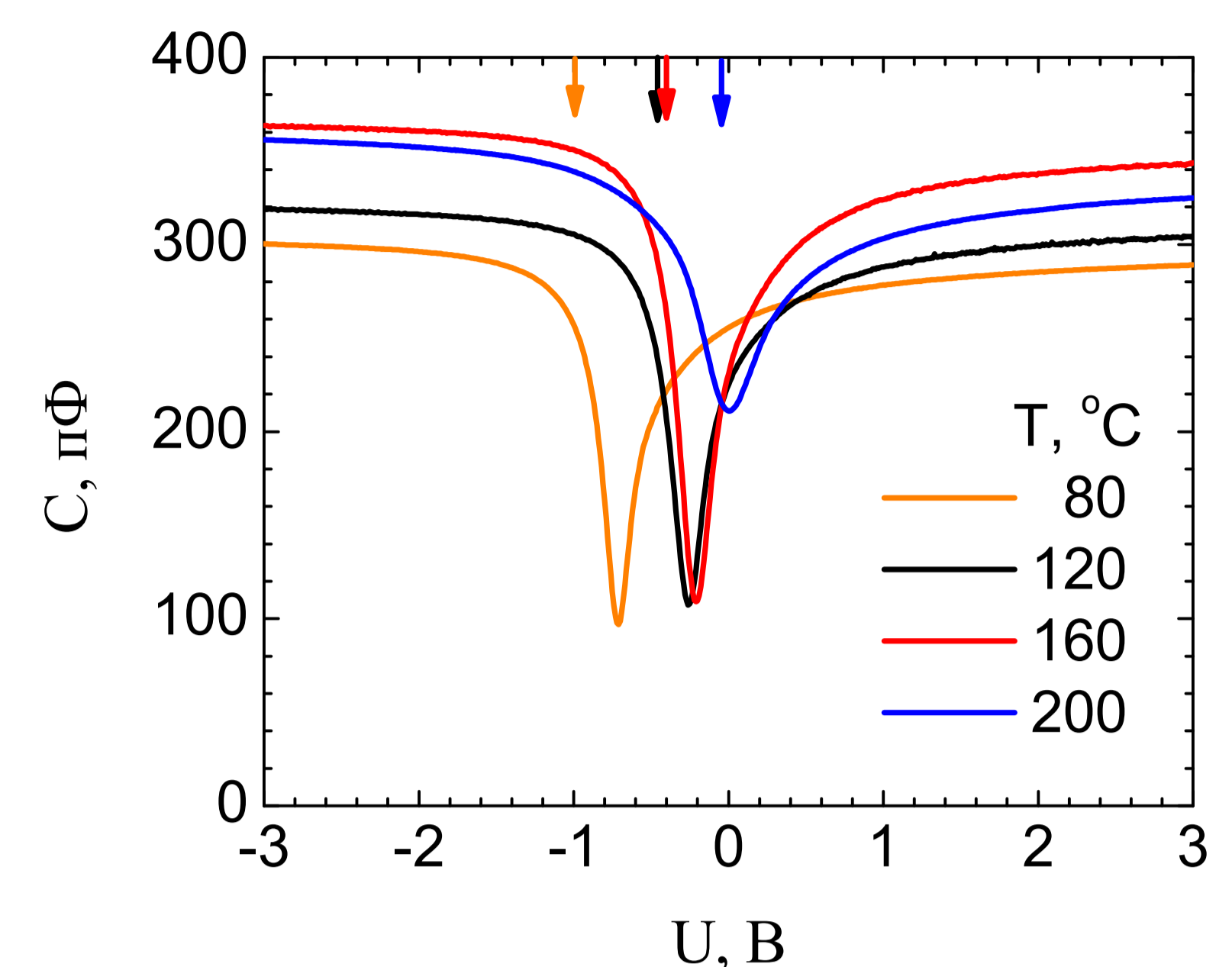


Энергетическая диаграмма реальной МДП структуры при отрицательном смещении затвора

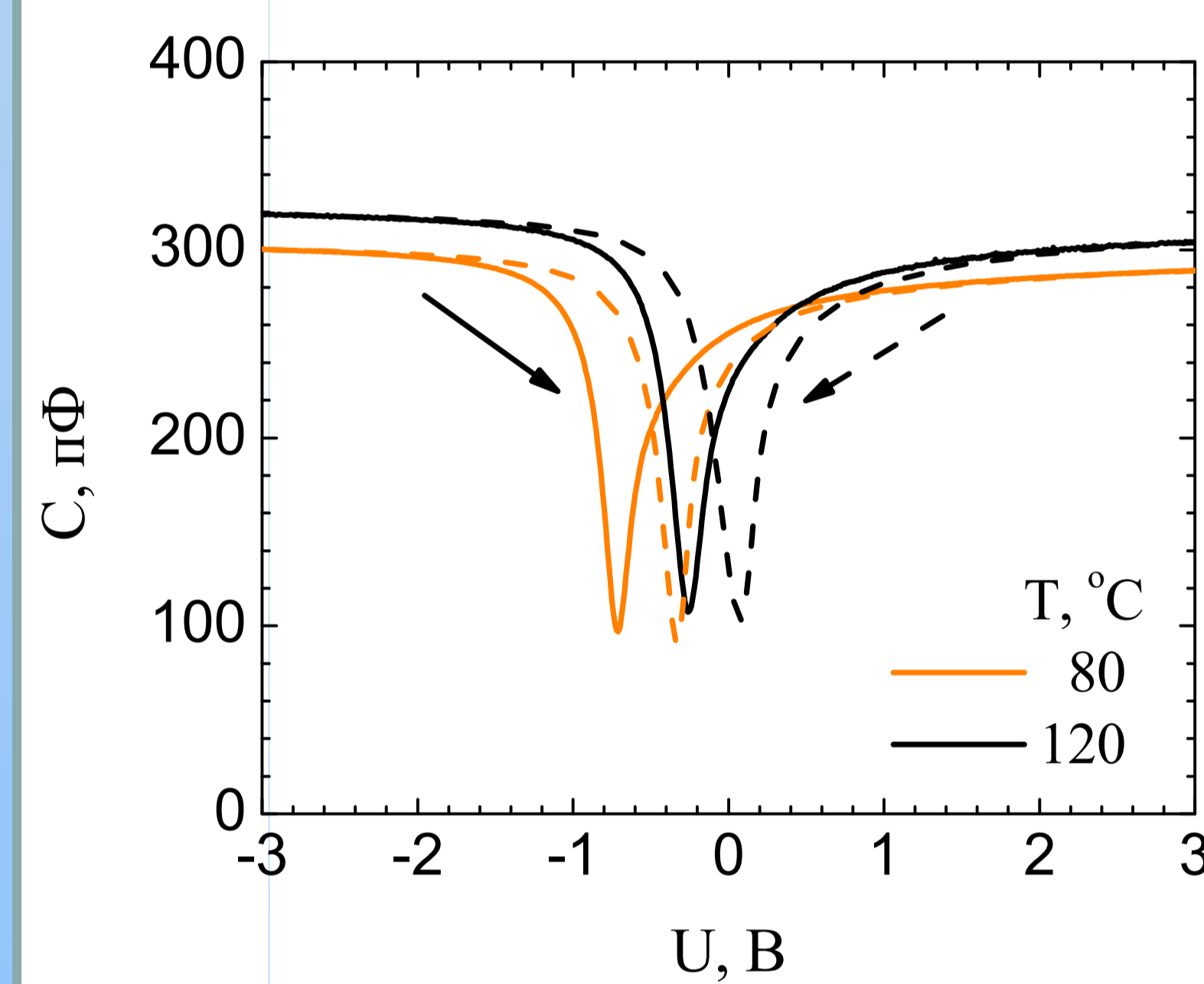
Результаты



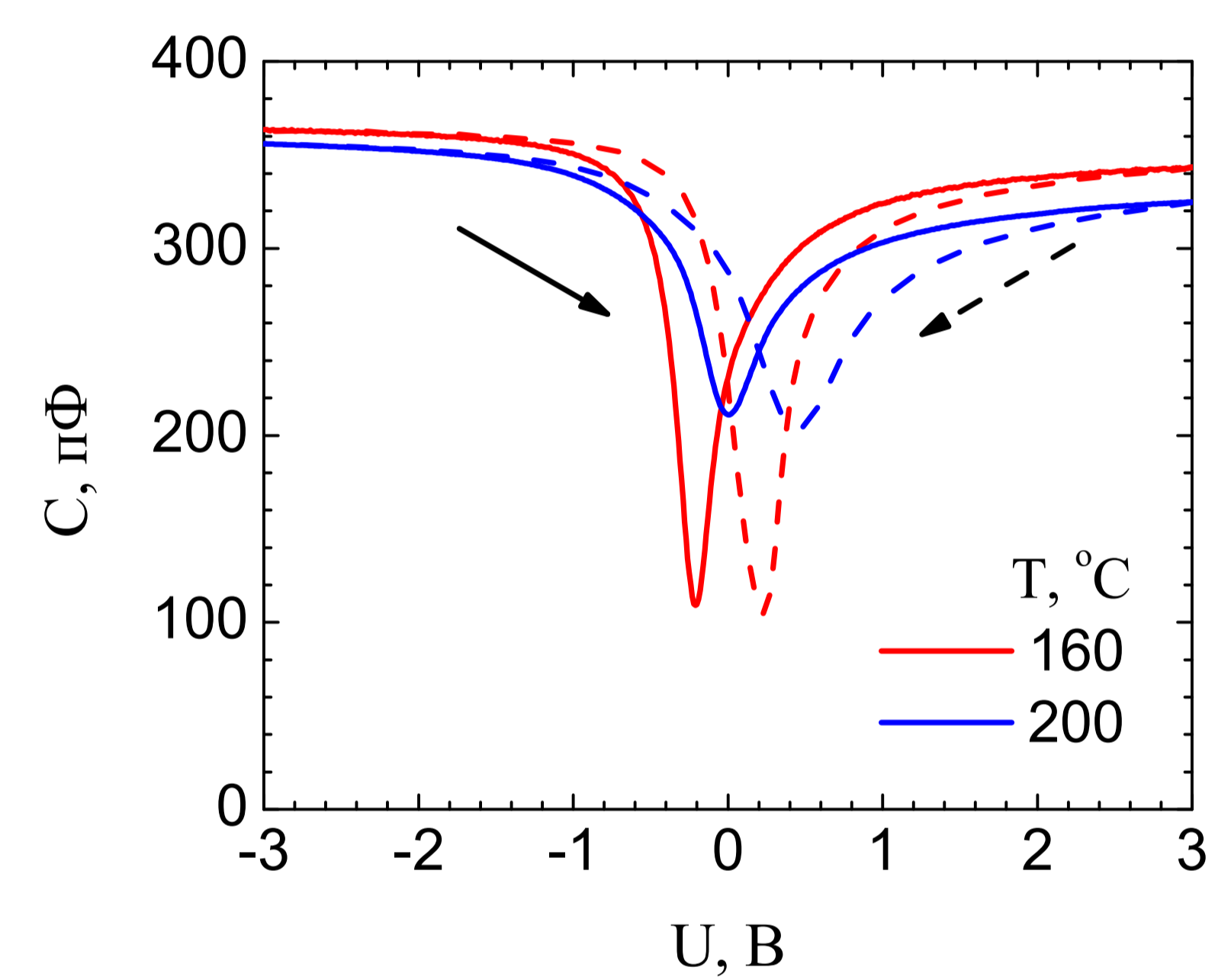
Измеренные ВФХ на различных МДП структурах для образца с температурой роста Al₂O₃ равной 80°C. Из измеренных данных можно рассчитать отношение диэлектрической постоянной Al₂O₃ к его толщине из значения емкости в области отрицательных напряжений в режиме обогащения (-3В). Для образцов с температурой роста Al₂O₃ равной 120, 160 и 200°C проводились аналогичные измерения и расчеты. Установлено, что с увеличением температуры роста отношение диэлектрической постоянной Al₂O₃ к его толщине увеличивается.



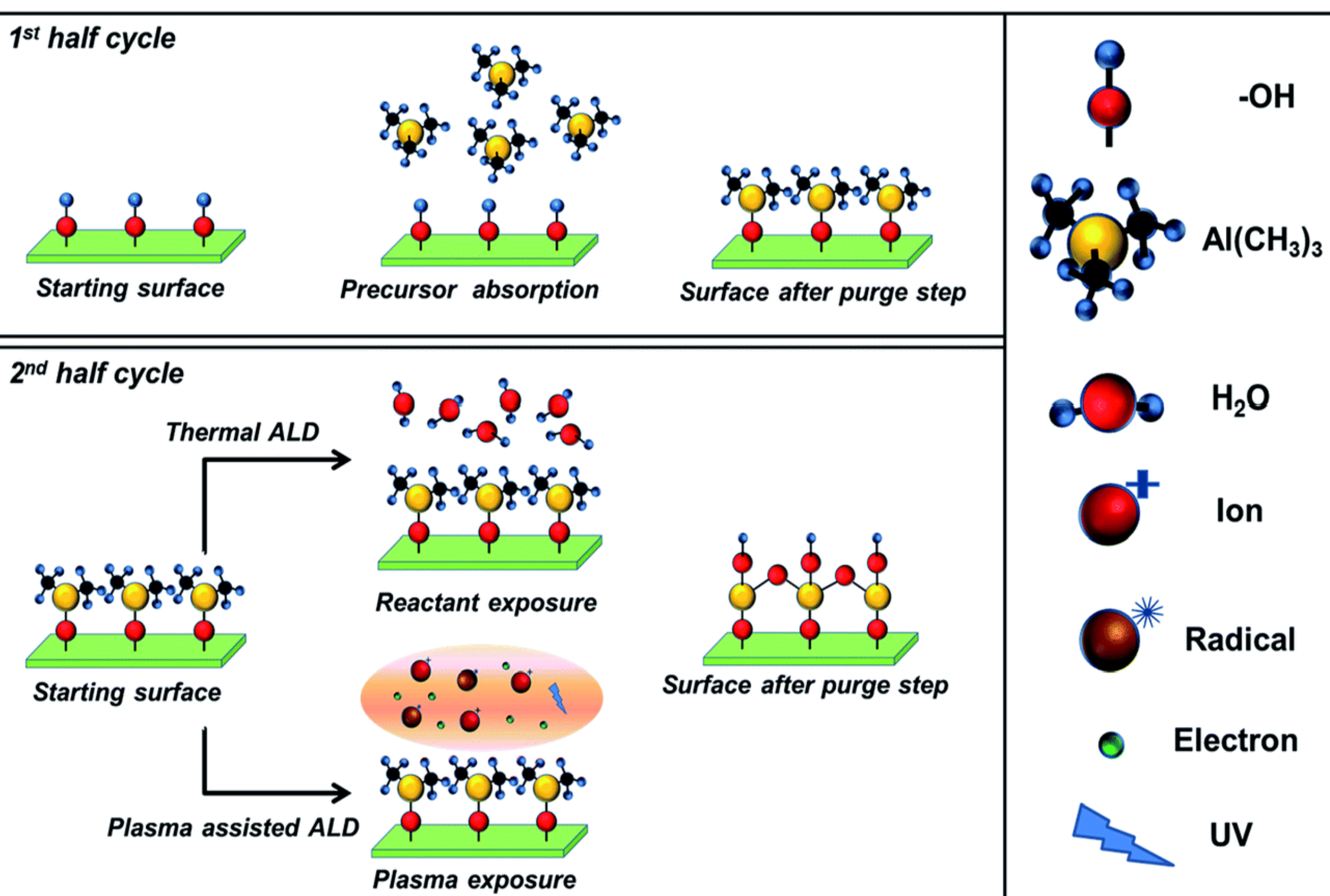
Измеренные ВФХ для образцов с различной температурой роста Al₂O₃. На всех образцах наблюдается смещение положения напряжения плоских зон, что свидетельствует о наличии в диэлектрике фиксированного встроенного заряда. Установлено, что значение встроенного заряда в диэлектрике ведет себя не монотонно с ростом температуры нанесения Al₂O₃, но наблюдается тренд на уменьшение. Наибольшее значение встроенного заряда в диэлектрике достигается при температуре роста 80°C.



Измеренные ВФХ в прямом (от -3В до +3В) и обратном (от +3В до -3В) смещении для МДП структуры с Al₂O₃, выращенным при температуре 80°C и 120°C. Наблюдаемый гистерезис свидетельствует о наличии в переходном слое медленных состояний. По ширине гистерезиса было рассчитано число медленных состояний в переходном слое. Аналогичные измерения и расчет проводились и для образцов с температурой роста Al₂O₃ равной 160 и 200°C. Из результатов видно, что число медленных состояний увеличивается с увеличением температуры с возможным выходом на насыщение.



Измеренные ВФХ в прямом (от -3В до +3В) и обратном (от +3В до -3В) смещении для МДП структуры с Al₂O₃, выращенным при температуре 160°C и 200°C. Наблюдается изменение значения ёмкости в минимуме ВФХ. Глубина минимума определяется концентрацией примесей, в нашем случае акцепторов. Установлено, что с увеличением температуры концентрация акцепторов слабо меняется до температуры роста 160°C и близка к концентрации акцепторов измеренной после роста КРТ на всей пластине Si. Наибольшее значение достигается при температуре роста 200°C.



Процесс атомно-слоевого осаждения

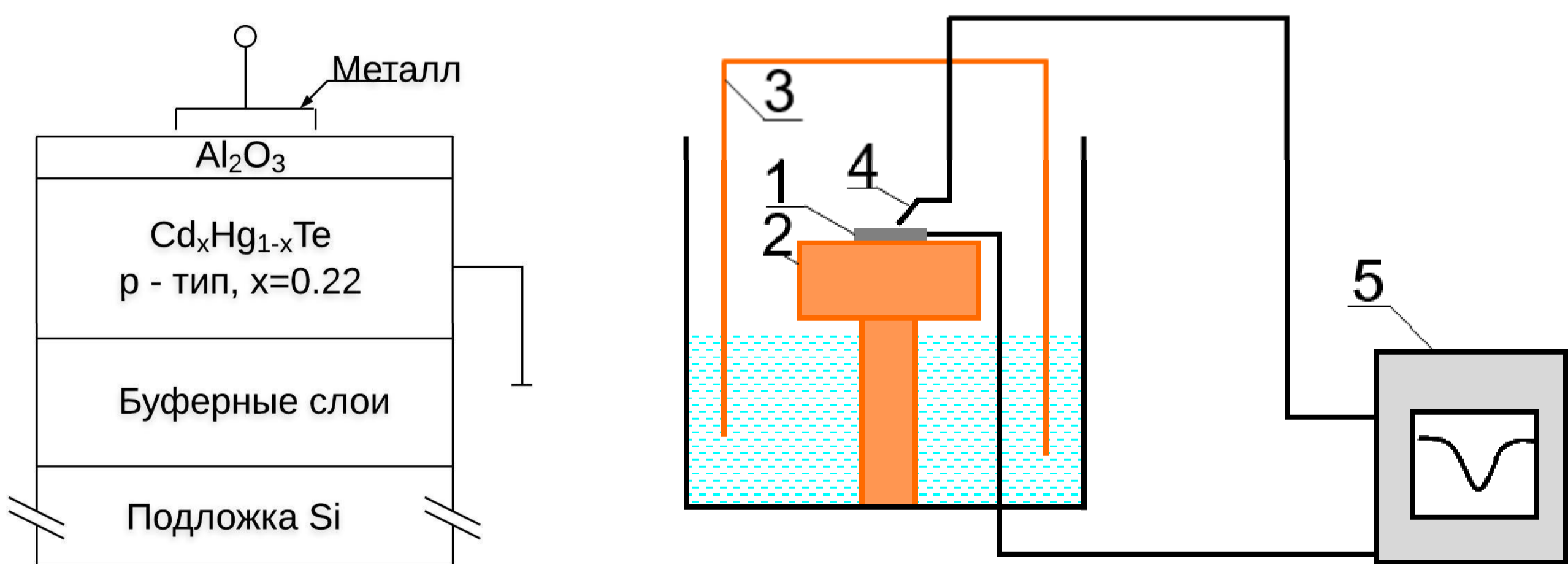


Схема МДП структуры

Схема измерения C-V характеристик МДП структур: 1 - образец, 2 - столик, 3 - холодный экран, 4 - зонд, 5 - измерительный блок В1500А.

Оценка отношения диэлектрической постоянной Al₂O₃ к его толщине (ϵ_r/d), концентрации акцепторов (N_A), плотности фиксированного встроенного заряда (N_f) в диэлектрике и ловушек (N_t) в переходном слое.

T, °C	$\epsilon_r/d, \text{ см}^{-1}$	$N_A, \text{ см}^{-3}$	$U_b, \text{ В}$	$N_f, \text{ число зарядов} \cdot \text{ см}^{-2}$	$N_t, \text{ число зарядов} \cdot \text{ см}^{-2}$
80	$(1.68 \pm 0.04) \cdot 10^6$	$(8.3 \pm 0.2) \cdot 10^{15}$	-0.99 ± 0.03	$(3.3 \pm 0.1) \cdot 10^{12}$	$(2.8 \pm 0.1) \cdot 10^{11}$
120	$(1.79 \pm 0.02) \cdot 10^6$	$(8.8 \pm 0.2) \cdot 10^{15}$	-0.46 ± 0.01	$(1.9 \pm 0.1) \cdot 10^{12}$	$(3.1 \pm 0.1) \cdot 10^{11}$
160	$(2.08 \pm 0.02) \cdot 10^6$	$(8.5 \pm 0.1) \cdot 10^{15}$	-0.40 ± 0.02	$(2.2 \pm 0.1) \cdot 10^{12}$	$(3.5 \pm 0.1) \cdot 10^{11}$
200	$(2.05 \pm 0.01) \cdot 10^6$	$(1.7 \pm 0.1) \cdot 10^{16}$	0.01 ± 0.04	$(1.7 \pm 0.1) \cdot 10^{12}$	$(3.4 \pm 0.1) \cdot 10^{11}$

Заключение

Из полученных результатов было установлено, что концентрация акцепторов увеличивается с увеличением температуры роста. Число медленных состояний в переходном слое также увеличивается с увеличением температуры. А значение встроенного заряда в диэлектрик уменьшается с ростом температуры. Наибольшее значение и разброс фиксированного встроенного заряда в диэлектрике наблюдается при температуре роста Al₂O₃ 80°C, что негативно скажется на однородности электрофизических параметров фотоприёмного устройства на основе КРТ с пассивирующим покрытием Al₂O₃. Из результатов видно, что наибольшее значение минимума ВФХ достигается при температуре роста Al₂O₃ 200°C. Это означает, что значение концентрации акцепторов в приповерхностной области наибольшее. Таким образом, оптимальное значение температуры роста пассивирующего покрытия Al₂O₃ на КРТ лежит в диапазоне 120-160°C.

Литература

- [1] Росальский А., Инфракрасные детекторы: пер. с англ./под ред. А.В. Войцеховского, Наука (2003).
- [2] Kovchavtsev A. P. and etc., *Journal of Applied Physics*, **121**, 125304 (2017).
- [3] Voitsekhovskii A. V., Nesmelov S. N., and Dzyadukh S. M., *Russian Physics Journal*, **58** (4), 540 (2015).
- [4] Zakirov E. R. and etc., *Semicond. Sci. Technol.*, **34**, 065007 (2019).
- [5] van Hemmen J. L. and etc., *Journal of The Electrochemical Society*, **154** (7), G165 (2007).
- [6] Войцеховский А. В. и др. *Прикладная физика*, **5**, 22 (2016).