

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР $Al-Al_2O_3$, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

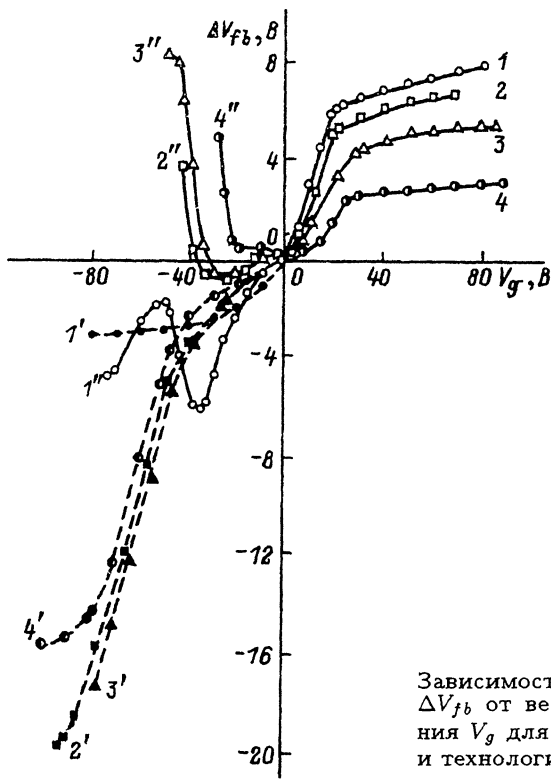
*А.П. Барабан, В.В. Булавинов, В.Е. Дрозд, И.О. Никифорова,
М.В. Сергиенко*

Санкт-Петербургский государственный университет,
199164, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 15 июня 1994 г.)

Слои окисла алюминия, синтезированные методом молекулярного наплавления (МН) [1], широко применяются в электролюминесцентных матричных дисплеях на основе структур с двойным диэлектриком типа $Al-Al_2O_3-ZnS(Mn)-Al_2O_3$ [2]. Рабочие характеристики дисплея определяются электрофизическими характеристиками данных структур, такими как высота барьеров на границах $Al-Al_2O_3$ и $ZnS-Al_2O_3$, а также концентрация центров захвата в диэлектрике, влияющими на величину инжекционного тока, перераспределение поля в структуре и т.д. [3]. Имеющиеся в литературе сведения относительно электрофизических характеристик структур $Al-Al_2O_3$ немногочисленны и противоречивы; последнее обстоятельство может быть связано с зависимостью этих характеристик от условий формирования слоев диэлектрика (исходные реагенты, температура синтеза), обнаруженной, в частности, при исследовании физико-химических (плотность, коэффициент преломления, скорость травления) характеристик слоев окисла алюминия [4].

В настоящей работе с целью оценки концентрации центров захвата носителей заряда обоих знаков в слоях Al_2O_3 и построения энергетической диаграммы структур $Al-Al_2O_3$, полученных методом МН при различных температурах синтеза, изучалось изменение зарядового состояния систем $Si-Al_2O_3-Al$ и $Si-Al_2O_3$ -электролит в результате полевой инжекции в диэлектрик как электронов, так и дырок [5]. Использование полупроводниковой подложки позволяло определять величину заряда в диэлектрике методом высокочастотных вольт-фарадных (ВЧ ВФХ) характеристик и варьировать условия инжекции дырок в Al_2O_3 при изменении знака поляризующего напряжения за счет различия в высоте барьеров на полупроводниковом ϕ_{sp} и металлическом ϕ_{mp} контактах ($\phi_{mp} \approx \phi_{sp} + 1$ эВ). Применение электролитического контакта давало возможность изменять условия инжекции электронов, поскольку высота барьера при инжекции из электролита ϕ_{en} значительно превышает соответствующие значения для полупроводникового ϕ_{sn} и металлического ϕ_{me} контактов $\phi_{sn} \approx \phi_{mn} \approx \phi_{en} - 1$ эВ [6].

Исследовались структуры $Si-Al_2O_3$, полученные нанесением на подложки марки КЭФ-5 (111) методом МН слоев Al_2O_3 толщиной 95–115 нм при температурах синтеза $t = 150, 200, 240$ и $310^\circ C$ (технологии 1–4 соответственно) с использованием в качестве исходных материалов триметилалюминия и воды. Измерения ВЧ ВФХ с целью



Зависимость сдвига потенциала плоских зон ΔV_{fb} от величины поляризующего напряжения V_g для различных условий поляризации и технологий формирования образцов.

определения зависимостей сдвига потенциала плоских зон ΔV_{fb} от постепенно возрастающей величины поляризующего напряжения V_g проводились при комнатной температуре на частоте 1 МГц; область поляризации ограничивалась пробоем диэлектрика и варьировалась в пределах $F = \pm 8$ МВ/см, время поляризации в каждой точке зависимости $\Delta V_{fb}(V_g)$ составляло 60 с [5]. Внешний алюминиевый контакт наносился путем испарения с использованием резисторного нагрева, электрическим контактом служил 0.04 н. водный раствор сульфата натрия [6]. Для оценки ширины запрещенной зоны Al_2O_3 измерялись спектры пропускания диэлектрика, нанесенного на кварцевую подложку, в области энергий 1.5–6.4 эВ с помощью спектрометра марки СПЕКОРД-М40.

На рисунке представлены типичные зависимости $\Delta V_{fb}(V_g)$, измеренные на структурах с толщиной диэлектрика 115 нм при трех различных условиях заряжения образцов, отличающихся знаком приложенного поля F и типом внешнего контакта к диэлектрику: 1) $F > 0$, металл (кривые 1–4); 2) $F < 0$, электролит (кривые 1'–4'); 3) $F < 0$, металл (кривые 1''–4''). Проведем последовательное рассмотрение этих зависимостей.

1) Приложение к структуре Si– Al_2O_3 –Al положительных (относительно Si) смещений приводит к сдвигу ΔV_{fb} (кривые 1–4), который соответствует захвату на ловушки электронов, инжектированных из кремния. Вид зависимостей $\Delta V_{fb}(V_g)$ в рамках модели диэлектрика с однородным распределением ловушек характерен для монополярной

инжекцию, причем начальный рост ΔV_{fb} соответствует постепенному увеличению захваченного заряда, а переход к насыщению связан с уравниванием потоков, захватываемых и выбрасываемых из ловушек носителей [7]. Более быстрый рост зависимости для образцов, синтезированных при $t = 150^\circ\text{C}$ (кривая 1) может быть в первую очередь связан с меньшей высотой барьера для электронов $\phi_{sn}(150) < \phi_{sn}(310)$. Реализация условий монополярной инжекции электронов из кремния свидетельствует о том, что высота барьера ϕ_{sn} значительно меньше высоты барьера для дырок на внешнем контакте $\phi_{sn} < \phi_{mp}$ для всех температур синтеза. Оценка эффективной (без учета центроида [6]) концентрации электронных ловушек N_n дает значения $N_n = 0.8-1.5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

2) Приложение отрицательных смещений к структуре Si-Al₂O₃ с электролитическим внешним контактом приводит к сдвигу ΔV_{fb} (кривые 1'-4'), который соответствует захвату в окисле дырок, инжектированных из кремния; вид зависимостей $\Delta V_{fb}(V_g)$ качественно совпадает с видом кривых 1-4. Более быстрый рост зависимости в случае температуры синтеза $t = 150^\circ\text{C}$ может свидетельствовать об относительно меньшей высоте барьера для дырок $\phi_{sp}(150) < \phi_{sp}(310)$; реализация условий монополярной дырочной инжекции позволяет написать соотношение $\phi_{sp} < \phi_{en}$ для всех температур. Оценка концентрации дырочных ловушек N_p дает значения $N_p(150) \approx 10^{12} \text{ см}^{-2}$, $N_p(200-310) = (1.8-2.0) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$.

3) В случае приложения к структуре Si-Al₂O₃-Al отрицательных смещений зависимости $\Delta V_{fb}(V_g)$ имеют более сложный вид (кривые 1''-4''), свидетельствующий о том, что одновременно с инжекцией электронов из алюминия имеет место инжекция дырок из кремния, причем влияние последней растет с уменьшением температуры синтеза. Вид кривой 1'' свидетельствует о примерном равенстве высот барьеров $\phi_{mn}(150) \approx \phi_{sp}(150)$, в то время как преобладание вклада отрицательного заряда в ΔV_{fb} в больших полях при относительно меньшей концентрации электронных ловушек может быть связано с относительно меньшей высотой барьера для электронов в случае других температур синтеза $\phi_{mn}(200-310) < \phi_{sp}(200-310)$. Оценка концентрации электронных ловушек примерно совпадает с полученной ранее.

На основании полученных выше неравенств $\phi_{sn}(150) < \phi_{sn}(310)$ и $\phi_{sp}(150) < \phi_{sp}(310)$ можно сделать вывод, что как высоты барьеров для электронов и дырок, так и ширина запрещенной зоны Al₂O₃ $E_{gi} = \phi_{sn} + \phi_{sp} + E_{gs}$, где $E_{gs} = 1.1 \text{ эВ}$ — ширина запрещенной зоны кремния, растут с увеличением температуры синтеза $E_{gi}(310) > E_{gi}(150)$. Измерение спектров пропускания слоев Al₂O₃ позволило оценить ширину запрещенной зоны диэлектрика как $E_{gi}(310) \approx 6 \text{ эВ}$. Верхнюю границу величины $\phi_{mn} \approx \phi_{sn}$ можно получить из соотношения $\phi_{mn} < \phi_{sp} : \phi_{mn} \leq (E_{qi} - E_{qs})/2 \approx 2.5 \text{ эВ}$, а нижнюю из соотношения $\phi_{en} > \phi_{sp} : \phi_{en} \approx \phi_{sp} \approx E_{gi}/2 \approx 3 \text{ эВ}$, $\phi_{mn} = \phi_{en} - 1 \text{ эВ} \approx 2 \text{ эВ}$. Учитывая, что $\phi_{sn} \approx \phi_{mn} < \phi_{sp}$, мы считаем возможным оценить ϕ_{sn} величиной $\phi_{sn}(310) \approx 2.3 \text{ эВ}$, тогда $\phi_{sp}(310) \approx 2.6 \text{ эВ}$. Барьеры в случае образцов, синтезированных при $t = 150^\circ\text{C}$, меньше и примерно равны; можно предположить, что $\phi_{sn}(150) \approx \phi_{sp}(150) \approx 2 \text{ эВ}$, тогда $E_{gi}(150) \approx 5 \text{ эВ}$. Значения высот барьеров и ширины запрещенной зоны для структур,

синтезированных при $t = 200$ и 240°C , являются промежуточными между описанными выше.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что путем изменения температуры синтеза можно существенно варьировать электрофизические характеристики структур Al-Al₂O₃, полученных методом МН, такие как высота барьеров для электронов и дырок на обеих границах и ширина запрещенной зоны Al₂O₃, а также концентрация центров захвата носителей заряда обоих знаков в этом диэлектрике.

Список литературы

- [1] Алексковский В.Б. Стехиометрия и синтез твердых соединений. Л.: Наука, 1976. 218 с.
 - [2] Santola T. // Material Sci. Rep. 1989. Vol. 4. P. 261-312.
 - [3] Дисплеи / Под ред. Ж. Панкова. М.: Мир, 1982. 316 с.
 - [4] Aarik J., Aidla A., Jack A. et al. // Acta et Comm. Univ. Tartuensis, 1990. Vol. 908. P. 64-73.
 - [5] Барабан А.П., Булавинов В.В., Трошигин А.Г. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. Вып. 18. С. 27-30.
 - [6] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. Л., 1988. 304 с.
 - [7] Электронные процессы в запоминающих многослойных структурах. Тр. ФИАН. Т. 184. М.: Наука, 1987. 160 с.
-