

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ АНОДНОЙ ОБРАБОТКИ  
НА МИКРОШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Анодная обработка кремния в растворе плавиковой кислоты приводит при определенных условиях к формированию пористого кремния (ПК) [1]. Пористый кремний обладает уникальными свойствами, которые позволяют решить такие актуальные проблемы в микроэлектронике, как формирование толстых диэлектрических пленок (более 1 мкм), глубоких легированных слоев и осуществление эффективного геттерирования нежелательных примесей [2]. Для обеспечения планарности структуры слоев, создаваемых на пористом кремнии при последующих технологических операциях производства интегральных схем и полупроводниковых приборов, необходимо иметь данные о микрошероховатости поверхности ПК.

Микрорельеф поверхности пористого кремния изучался в большинстве случаев только с точки зрения качества, на основе электронно-микроскопического анализа [3–8]. Поэтому особый интерес представляет количественная оценка этого фактора.

В данной работе проведена количественная оценка микрошероховатости поверхности ПК в зависимости от условий анодирования. Полученные результаты сопоставлены с электронно-микроскопическими исследованиями.

Пористый кремний формировался анодной обработкой кремния с шероховатостью поверхности  $\nabla 14$ , легированного сурьмой до удельного сопротивления 0,01 Ом·см, 12 ÷ 40 %-ном растворе HF при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Электролитическая ячейка анодирования и методика подготовки образцов описана в работе [7].

Ток использовался постоянный, поляризация рабочего электрода осуществлялась с помощью потенциостата П-5848. В качестве вспомогательного электрода применялся платиновый электрод ЭПВ-1-100. Микрошероховатость поверхности ПК оценивали на профилографе-профилометре 201 ТО, а микрорельеф — с помощью электронного микроскопа ЭММА-2.

На рис.1 представлены профилограммы поверхности ПК, полученного анодной обработкой в HF при 5; 40 мА/см<sup>2</sup> в течение 10 мин. Запись профилограмм, выполненная в различных точках поверхности одного и того же образца, свидетельствует об однородности микропрофиля. Сравнение профилограмм поверхности ПК, полученного в различных режимах показывает, что при плотности тока анодирования 40 мА/см<sup>2</sup> уменьшение концентрации HF в электролите с 48 до 12 % вызывает увеличение микрошероховатости пористого кремния ( $R_a$ ) с 0,0025 до 0,0150 мкм (см. рис. 1а–в). Анодная обработка кремния при 5 мА/см<sup>2</sup> незначительно снижает эту микрошероховатость (см. рис. 1 а, г; б, д; в, е). Характер же влияния на нее концентрации плавиковой кислоты сохраняется. Так, при HF = 48 %  $R_a \leq 0,0025$  мкм, при HF = 24 %  $R_a = 0,005$ , а при HF = 12 %  $R_a = 0,010$  мкм. Данные профилографических исследований согласуются с электронно-микроскопическими.



После анодной обработки кремния в 48 %-ном растворе HF при плотности тока  $40 \text{ мА/см}^2$  на поверхности видны отдельные нарушения кристаллической структуры. Уменьшение концентрации плавиковой кислоты вызывает существенные внешние изменения поверхности ПК и ее развитие; уменьшение плотности тока анодирования с  $40$  до  $5 \text{ мА/см}^2$  ведет к небольшому сглаживанию микрорельефа поверхности ПК.

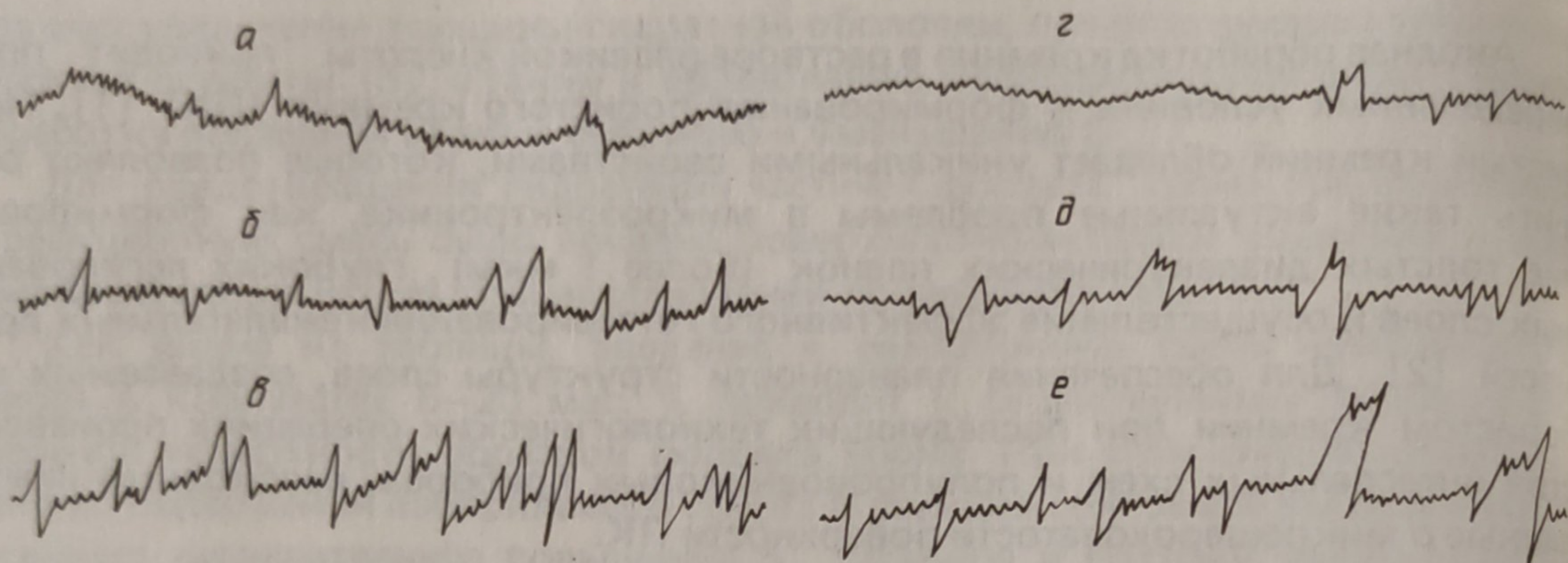
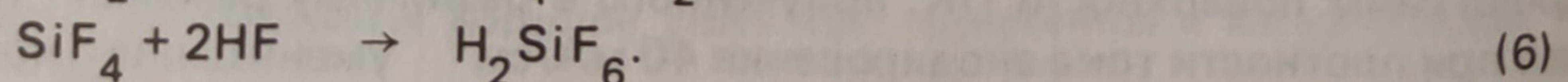
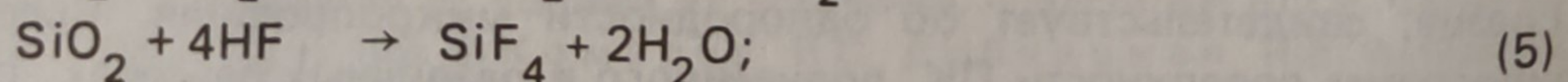
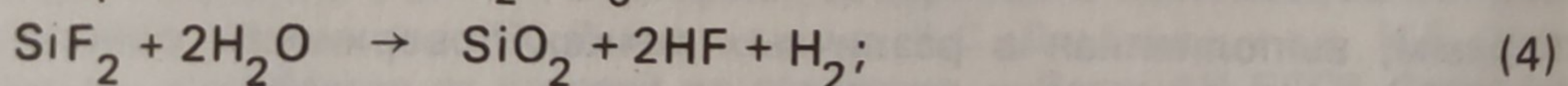
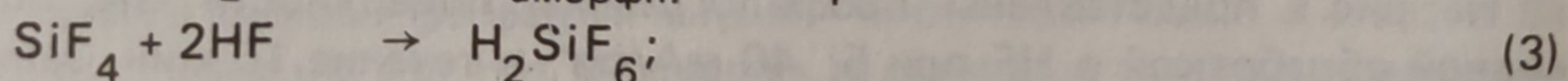
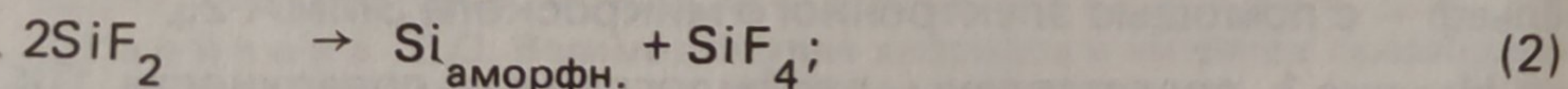
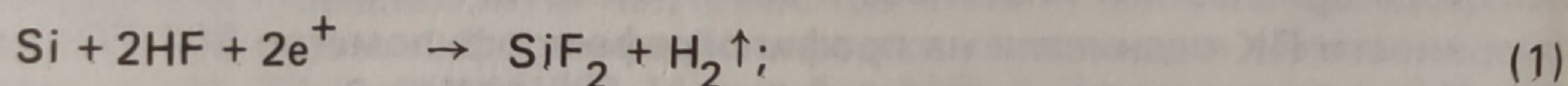


Рис. 1. Профилограммы пористого кремния, полученного в условиях:  
 а — концентрация HF — 48 %, плотность тока —  $40 \text{ мА/см}^2$ ; б — 24 % и  $40 \text{ мА/см}^2$ ,  
 в — 12 % и  $40 \text{ мА/см}^2$ ; г — 48 % и  $5 \text{ мА/см}^2$ ; д — 24 % и  $5 \text{ мА/см}^2$ ; е — 12 % и  $5 \text{ мА/см}^2$ ,  
 соответственно. Вертикальное увеличение  $\times 200000$ , горизонтальное —  $\times 400$ .

Однако и при  $5 \text{ мА/см}^2$  зависимость морфологии поверхности ПК от концентрации HF аналогично, как и для плотности тока анодирования  $40 \text{ мА/см}^2$ .

Проведенные исследования показали, что повышение плотности тока анодирования и уменьшение концентрации HF в электролите приводит к увеличению микрошероховатости поверхности пористого кремния.

Для объяснения полученных результатов необходимо привести реакции, протекающие при анодной обработке кремния в растворе плавиковой кислоты [3]:



Реакции электрополировки (1), (4–6) и образования пористого кремния (1–3) происходят одновременно. Соотношение между скоростями этих реакций определяется концентрацией ионов фтора в зоне реакции. При ограничен-



ности числа ионов фтора в зоне реакции или их уменьшении возрастает скорость реакции электрополировки, что приводит к растравливанию поверхности и увеличению шероховатости по сравнению с шероховатостью поверхности монокристаллического кремния до анодной обработки. Уменьшение концентрации ионов фтора в зоне реакции может быть достигнуто ростом плотности тока анодирования и снижением концентрации HF в электролите.

Таким образом, показатели возрастания шероховатости поверхности пористого кремния при увеличении плотности тока анодирования и уменьшении концентрации HF в электролите, найденные экспериментально, согласуются с теоретическими данными. Полученные результаты дают возможность достигать заданной шероховатости поверхности пористого кремния и варьировать ею, изменяя условия анодной обработки кремния.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Turner D.R. Electropolishing silicon in hydrofluoric acid solutions. — *F. Electrochem. Soc.*, 1958, 105, N 7, p. 402.
2. Лабунов В.А., Бондаренко В.П., Борисенко В.Е. Пористый кремний в полупроводниковой электронике. — *Зарубежная электронная техника*, 1978, № 15, — 24 с.
3. Labunov V., Baranov I., Bondarenko V. Investigation of porous silicon formation during anodic treatment in aqueous HF. — *Thin solid Films*, 1979, 64 N 3, p. 479.
4. Formation and properties of porous silicon and its application/Y.Watanabe, Y.Arita, T.Yokoyama, Y.Igarashi. — *J. Electrochem. Soc.*, 1975, 122, N 10, p. 1351.
5. Arita Y., Sunohara Y. Formation and properties of porous silicon film. — *J. Electrochem. Soc.*, 1977, 124, N 2, p. 285.
6. Arita Y. Formation and oxidation of porous silicon by anodic reaction. — *J. Crystal Growth*, 1978, N45, p.383.
7. Unagami T., Seki M. Structure of porous silicon layer and heat-treatment effect. — *J. Electrochem. Soc.*, 1978, 125, N 8, p. 1339.
8. Unagami T. Formation mechanism of porous silicon layer by anodization in HF solution. — *J. Electrochem. Soc.*, 1980, 127, N 2, p.476.