

УМЕНЬШЕНИЕ ПОРОГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ЗАРЯДА НА ГРАНИЦЕ $Si-SiO_2$ В МОП СТРУКТУРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ В КАЧЕСТВЕ ВТОРОГО СЛОЯ ДИЭЛЕКТРИКА

Р. А. БАГДАСАРЯН, С. А. САРКИСЯН, К. О. ХАЧАТРЯН,
Г. Г. ШИРАКЯН

Исследованы свойства МОП структур с термически выращенной пленкой окисла. Показано, что нанесение на SiO_2 в качестве второго слоя диэлектрика чистого поликристаллического кремния приводит к уменьшению порогового напряжения, стабилизации заряда в окисле и на границе SiO_2-Si .

Для улучшения параметров полупроводниковых интегральных схем (ИС) на МДП транзисторах в настоящее время особое внимание уделяется разработке технологических приемов снижения порогового напряжения V_n и стабилизации его значения. Для этих целей в последние годы в МДП структурах в сочетании с диэлектрической изоляцией на основе двуокиси кремния применяют дополнительный изолирующий слой, например, из нитрида кремния, а также подбирают материал затвора с относительно низкой работой выхода. В литературе в качестве затвора рекомендуется использовать высоколегированный поликристаллический кремний вместо обычно используемых алюминия, молибдена и т. п. [1-3].

В настоящей работе показывается, что в МОП структурах нанесение на SiO_2 в качестве второго, подзатворного слоя диэлектрика чистого поликристаллического кремния существенно улучшает свойства таких структур. В частности, в структурах Al -поликремний- SiO_2-Si (МПОП) снижается пороговое напряжение, стабилизируется заряд на границе SiO_2-Si .

Для изучения свойств МПОП структур и сравнения их с аналогичными МОП структурами с помощью термического окисления в атмосфере сухого кислорода при температуре $1150^\circ C$ были получены структуры $Al-SiO_2-Si$ с толщиной окисла $0,12 \div 0,15$ мкм на подложке из n -кремния с кристаллографическим направлением $\langle 111 \rangle$. Концентрация примесей N_d составляла 10^{15} см^{-3} , диаметр алюминиевых электродов, нанесенных на SiO_2 , был равен 450 мкм.

В МПОП структурах на SiO_2 , полученных в тех же технологических условиях, в качестве второго слоя диэлектрика наносились слои поликристаллического кремния с различными толщинами (0,17; 0,2 и 0,25 мкм). Осаждение слоев поликремния осуществлялось на установке эпитаксиального наращивания с вертикальным кварцевым реактором диаметром 160 мм методом пиролиза моносилана ($SiH_4 \rightarrow Si + 2H_2$). Температура подложек регулировалась регулятором температуры ВРТ-2 с точностью $\pm 3^\circ C$. Процесс разложения проводился в вакууме при давлении $\sim 1 \text{ тор}$

при температуре подложек 660°C (при увеличении температуры наблюдалось увеличение зерен поликремния). В качестве газа-носителя использовался аргон. Такие условия обеспечивали скорость роста $\sim 600 \text{ \AA/мин}$. Свойства полученных структур анализировались методом высокочастотных вольт-фарадных C - V -характеристик [4] на частоте измеряемого сигнала 10 МГц .

На рис. 1 показаны кривые зависимости нормированной емкости C/C_0 (C_0 — емкость окисла) от приложенного напряжения V для структуры $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}$ в различных точках структуры. Видно, что величины пороговых напряжений в различных точках структуры неодинаковы, следовательно заряд на границе $\text{SiO}_2\text{-Si}$ распределен неравномерно. Из этих же

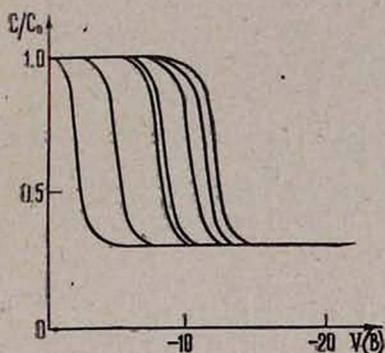


Рис. 1.

Рис. 1. Зависимость нормированной емкости C/C_0 от приложенного напряжения смещения в различных точках структуры $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}$ (толщина окисла $x_0 = 0,15 \text{ мкм}$).

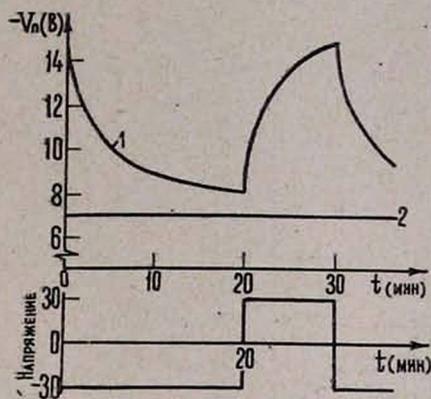


Рис. 2.

Рис. 2. Характерные зависимости порогового напряжения V_n от времени и от полярности приложенного смещения: 1 — для структуры $\text{Al-SiO}_2\text{-Si}$; 2 — для МПОП структуры ($x_0 = 0,15 \text{ мкм}$, толщина поликремния $x_n = 0,25 \text{ мкм}$, приложенное напряжение $V = 30 \text{ В}$).

кривых следует, что величина положительного заряда лежит в пределах $4,3 \cdot 10^{11} \div 2,2 \cdot 10^{12} \text{ заряд/см}^2$. Оказалось также, что в тех точках структуры, где пороговое напряжение V_n превышает $7,5 \text{ В}$ (что соответствует плотности заряда на границе $> 8,5 \cdot 10^{11} \text{ заряд/см}^2$), вольт-емкостные характеристики МОП структур дрейфуют со временем по оси напряжений (V_n меняется), если МОП структура некоторое время поддерживается под определенным напряжением той или иной полярности.

На рис. 2 показана характерная зависимость величины порогового напряжения V_n (в одной из таких точек структуры) от времени и полярности приложенного напряжения (кривая 1). При подаче к МОП структуре (к затвору) отрицательного смещения пороговое напряжение сначала резко уменьшается, затем изменение V_n со временем замедляется (V_n стремится к некоторому предельному значению). Изменение полярности приложенного напряжения приводит к увеличению порогового напряже-

ния с аналогичной закономерностью. Такое изменение V_n связано, по всей вероятности, с тем, что наряду с неподвижными положительными зарядами в окисле и у границы раздела SiO_2-Si существуют также подвижные положительные заряды (ионы натрия, водорода) [5], которые под влиянием отрицательного смещения перемещаются к затвору. Тем самым уменьшается то напряжение на затворе, которое необходимо для компенсации этих зарядов. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению напряжения плоских зон, а следовательно, и V_n .

Измерения на МПОП структурах показали, что нанесение поликристаллического кремния на SiO_2 существенно улучшает качество МОП структуры. При этом величина порогового напряжения в среднем снижается почти в два раза (с учетом того, что емкость диэлектрика при этом уменьшается) и, главное, стабилизируются $C-V$ -характеристики (дрейф $C-V$ -характеристик со временем при подаче напряжения той или иной полярности не наблюдается (см. рис. 2, кривая 2), следовательно заряд в окисле и на границе SiO_2-Si стабилизируется) и V_n почти не меняется с координатой.

На рис. 3 показана область разброса нормированных емкостей C/C_I -кривых МПОП структур по поверхности; здесь $C_I = \frac{C_0 C_n}{C_0 + C_n}$ ем-

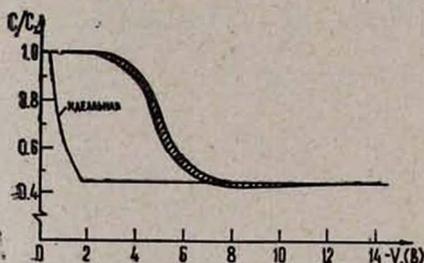


Рис. 3. Область разброса C/C_I -кривых по поверхности структуры Al -поликремний- SiO_2-Si и идеальная C/C_I -кривая ($x_0 = 0,15$ мкм, $x_n = 0,25$ мкм).

кость изолятора, C_n — емкость поликристалла. Для сравнения на этом же рисунке приведена идеальная C/C_I -кривая данной структуры (без учета положительного заряда в окисле и заряда поверхностных состояний). Некоторое расхождение наклонов кривых на участках спада емкостей объясняется влиянием поверхностных донорных состояний, а смещение C/C_I -кривых, в целом, направо — наличием неподвижных положительных зарядов в окисле и у поверхности границы раздела SiO_2-Si . Как видно из этих кривых, положительный заряд в окисле и у границы раздела распределен равномерно по поверхности структуры с плотностью $N_{FS} \approx 3,5 \cdot 10^{11}$ заряд/см², а плотность поверхностных донорных состояний есть $N_{SS} \approx 2,5 \cdot 10^{11}$ см⁻². Для сравнения отметим, что в работе [6] с целью стабилизации заряда в окисле и уменьшения плотности поверхностного заряда процессы термического окисления проводились в присутствии паров HCl и в наилучших технологических режимах получались МОП структуры, у которых плотности положительного заряда и поверхностных состояний в зависимости от толщины окислов менялись соответственно в

пределах $N_{FS} = (4 \cdot 10^{11} \div 1,3 \cdot 10^{12})$ заряд/см² и $N_{SS} = (3 \cdot 10^{11} \div 5,1 \cdot 10^{11})$ см⁻²

Чтобы убедиться, что снижение порогового напряжения и стабилизация C/C_f -характеристик (а следовательно и заряда) действительно связаны с нанесением поликристаллического кремния, нами была удалена часть слоя поликремния. Оказалось, что вышеуказанные закономерности для структуры $Al-SiO_2-Si$ повторяются. Уменьшение порогового напряжения и стабилизация заряда на границе SiO_2-Si , по-видимому, связаны с тем, что поликристаллическая пленка препятствует проникновению щелочных ионов, адсорбированных на поверхности во время химической обработки и металлизации, в окисел.

Таким образом, возможность применения МПОП структур при создании МДП ИС и БИС представляет большой интерес ввиду (обусловленной слоем поликремния) стабилизации $C-V$ -характеристик этих структур, уменьшения порогового напряжения и малого разброса V_n по поверхности структур.

В заключение нужно отметить, что варьирование в широких пределах толщин слоев окиси кремния и чистого поликремния с целью уменьшения значений пороговых напряжений путем увеличения емкостей изолирующих слоев затрагивает количественную сторону вопроса и выходит за рамки настоящей работы.

Авторы приносят благодарность Р. С. Барсегиану за помощь при изготовлении образцов и М. В. Минасяну за методические указания при создании измерительной $C-V$ -установки.

Ереванский государственный университет

Поступила 30.X.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Колешко, А. А. Ковалевский. Поликристаллические пленки полупроводников в микроэлектронике, Изд. Наука и техника, Минск, 1978.
2. F. Faggin, F. Klein. Sol. St. Electron., 13, 1125 (1970).
3. Б. Н. Буляк, А. А. Ковалевский, В. М. Колешко. Электронная техника, сер. Микроэлектроника, вып. 3, 72 (1977).
4. A. S. Grove et al. Sol. St. Electron., 8, 145 (1965).
5. А. А. Кириллов, Ю. И. Пашинцев. Микроэлектроника, 2, 7 (1973).
6. И. И. Жилкина, Ю. И. Савотин, И. А. Таратын. Электронная техника, сер. Микроэлектроника, вып. 3, 60 (1977).

ԲԱԶՄԱԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՄՕԿ
ՍՏՐՈՒԿՏՈՒՐԱՆԵՐՈՒՄ ՈՐՊԵՍ ԳԻԷԼԵԿՏՐԻԿ ԵՐԿՐՈՐԳ ՇԵՐՏ
ՇԵՄԱՅԻՆ ԼԱՐՄԱՆ ՓՈՔՐԱՑՄԱՆ ԵՎ $Si-SiO_2$ ՍԱՀՄԱՆԻ ԼԻՑՔԻ
ԿԱՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ռ. Ա. ԲԱՂԿԱՍԱՐՅԱՆ, Ս. Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Կ. Հ. ԽԱԶՍՏՐՅԱՆ,
Գ. Գ. ՇԻՐԱԿՅԱՆ

Ուսումնասիրվել են շերմային աճեցված օքսիդի շերտով $Al-SiO_2$ -ն սիլիցիում և Al -բազմաբյուրեղ սիլիցիում- SiO_2 -ն սիլիցիում սարուկտուրաների հատկությունները: Պարզվել է, որ մաքուր բազմաբյուրեղ սիլիցիումի նստեցումը SiO_2 -ի վրա որպես դիէլեկտրիկ երկրորդ շերտ բերում է շերմային լարման փոքրացմանը և SiO_2-Si սահմանի շիքի կայունացմանը:

THE DECREASE OF THRESHOLD VOLTAGE AND OF CHARGE
STABILIZATION AT SiO_2 - Si INTERFACE IN MOS STRUCTURES
USING POLYCRYSTALLINE SILICON AS A SECOND
INSULATOR LAYER

R. A. BAGDASARYAN, S. A. SARKISYAN,
K. O. KHACHATRYAN, G. G. SHIRAKYAN

The properties of $Al-SiO_2$ in silicon and Al -polycrystalline silicon- SiO_2 in silicon structures with thermally grown films of oxide were investigated. It is shown that the deposition of pure polycrystalline silicon as a second insulator layer on SiO_2 leads to the decrease of threshold voltage and the stabilization of the charge at SiO_2 - Si interface.