

УДК 621.382.002

РЕАКТИВНЫЙ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ УГЛЕРОДОМ

Телеш Е.В., Дуксин М.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Для обеспечения перехода на меньшие проектные технологические нормы в микроэлектронной индустрии разрабатываются новые технологии формирования систем металлизации с использованием медных проводников и изолирующих диэлектрических слоев с низкой ($\epsilon < 3,8$) и с ультранизкой ($\epsilon < 2,2$) диэлектрической проницаемостью для увеличения быстродействия и уменьшения энергопотребления СБИС. Диоксид кремния (SiO_2), широко применяющийся в кремниевой технологии, является одним из перспективных материалов для получения диэлектрических пленок, т.к. изменяя его структуру и состав, можно значительно понизить диэлектрическую проницаемость SiO_2 [1]. Диэлектрическая проницаемость пленки SiOC уменьшается с ростом содержания углерода. Замещение связей Si-O связями Si-C приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости, т.к. связи Si-C имеют более слабую ионную поляризацию, чем связи Si-O [2].

В данной работе пленки SiOC формировались реактивным ионно-лучевым распылением мишени из кремния в среде углекислого газа. Распыляемая мишень представляла собой диск из кремния марки КП-4 диаметром 69 мм и толщиной 10 мм. Остаточный вакуум не превышал $3,3 \cdot 10^{-3}$ Па. Толщина покрытий определялась с помощью микроскопа МИИ-4. Для измерения электрофизических параметров использовались МДМ структуры. Ёмкость, сопротивление и тангенс угла диэлектрических потерь измерялись на частоте 1 МГц с помощью прибора Е7-20. ИК спектры пропускания измерялись с применением FTIR спектрометра Vertex 70.

Пленки формировались при варьировании парциального давления CO_2 от 0 до $4 \cdot 10^{-2}$ Па. Ускоряющее напряжение составляло 3 кВ, ток мишени ~ 60 мА, Установлено, что скорость нанесения монотонно снижалась с ростом содержания CO_2 в рабочем газе и составляла $1,0 \dots 1,25$ нм/с. На рисунке 1 представлены зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от парциального давления CO_2 . Давление кислорода составляло $1,6 \cdot 10^{-2}$ Па, температура подложки – 313 К. С ростом давления диоксида углерода наблюдается монотонное снижение величины ϵ и $\text{tg}\delta$.

На рисунке 2 представлена зависимость удельного объемного сопротивления пленок и электрической прочности SiOC от парциального давления CO_2 . Установлено, что $E_{\text{пр}}$ незначительно снижалась, а ρ_v увеличилось в ~ 2 раза. Полученные

пленки имели низкие уровни $E_{\text{пр}}$ и ρ_v , что может быть связано с недостаточным окислением кремния. Последнее можно объяснить невысокой температурой подложки и недостатком кислорода в рабочем газе.

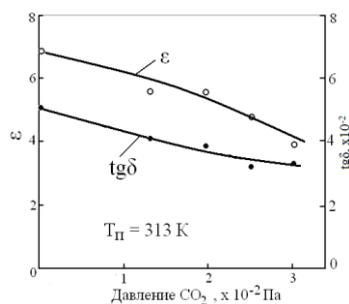


Рисунок 1 – Зависимости ϵ и $\text{tg}\delta$ пленок SiOC от парциального давления диоксида углерода

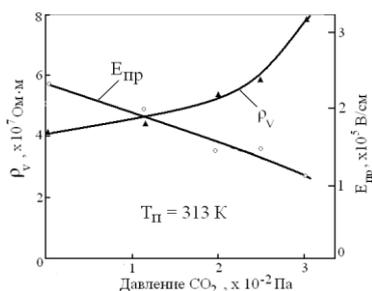


Рисунок 2 – Зависимости ρ_v и $E_{\text{пр}}$ пленок SiOC от парциального давления диоксида углерода

Следует отметить, что распыление кремния в чистом CO_2 способствовало снижению $\text{tg}\delta$ до 0,018 и увеличению ρ_v до $1,5 \cdot 10^8$ Ом·м. Наличие положительного потенциала на мишени также привело к уменьшению диэлектрических потерь в пленках SiOC .

Нагрев подложки привел к незначительным изменениям $\text{tg}\delta$, но способствовал снижению величины ϵ до 3,5. Повышение $T_{\text{пл}}$ способствовало росту ρ_v в ~ 4 раза, что можно объяснить стимулированием химического взаимодействия между кремнием и CO_2 (рисунок 3). Зависимость $E_{\text{пр}}$ от $T_{\text{пл}}$ имела экстремальный характер. Максимальное значение $E_{\text{пр}} = 4,3 \cdot 10^5$ В/см было достигнуто при $T_{\text{пл}} = 473$ К. Следует отметить более высокий уровень $E_{\text{пр}}$ по сравнению со значениями, полученными при нанесении на холодную подложку.

На рисунке 4 представлены спектры пропускания и поглощения пленок SiOC , полученных при разных температурах подложки.

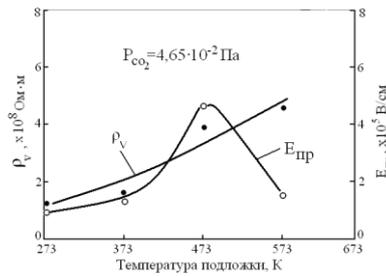


Рисунок 3 – Зависимости ρ_v и $E_{пр}$ пленок SiOC от температуры подложки

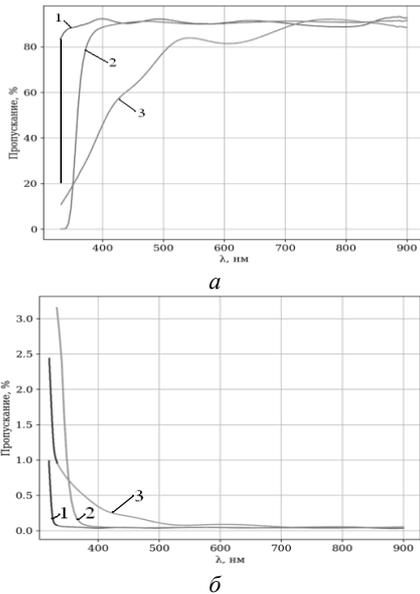


Рисунок 4 – Спектры пропускания (а) и поглощения (б) пленок SiOC:

- 1 – $p_{O_2} = 1,9 \cdot 10^{-2}$ Па; $p_{CO_2} = 3,5 \cdot 10^{-2}$ Па; $T = 303$ К;
- 2 – $p_{O_2} = 1,9 \cdot 10^{-2}$ Па; $p_{CO_2} = 3,4 \cdot 10^{-2}$ Па; $T = 573$ К;
- 3 – $p_{O_2} = 0$; $p_{CO_2} = 3,5 \cdot 10^{-2}$ Па; $T = 303$ К

Установлено, что при отсутствии кислорода в рабочем газе покрытия имели светло-коричневую окраску и обладали плохим пропусканием. Добавка кислорода в пределах $(1,6-2,0) \cdot 10^{-2}$ Па позволила получить прозрачные пленки с пропусканием $\sim 92-96\%$ в видимом диапазоне спектра. При $T_{п} = 573$ К произошло ухудшение спектральных характеристик в диапазоне 300–400 нм, что

УДК 621.382.002

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК НИТРИДА УГЛЕРОДА РЕАКТИВНЫМ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ГРАФИТА

Телеш Е.В., Филимонов Н.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Нитрид углерода интенсивно исследуется учеными разных стран, т.к. установлено, что β - C_3N_4 , аналогичный β - Si_3N_4 , должен обладать твердостью, сравнимой с твердостью алмаза [1, 2].

можно объяснить десорбцией кислорода из покрытия.

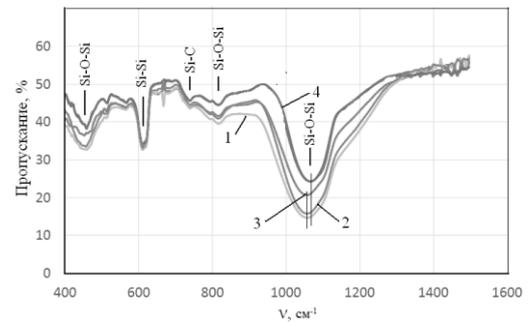


Рисунок 5 – ИК спектры пропускания пленок SiOC, полученных при различных режимах

На рисунке 5 представлены ИК спектры пропускания пленок SiOC, полученных при разных режимах. На спектре имелись следующие три характерные полосы поглощения SiO_2 : $\nu_{as} = 1085$ cm^{-1} , соответствующую валентному антисимметричному колебаниям $Si \leftarrow O \leftarrow Si$, $\nu_s = 820$ cm^{-1} , соответствующую валентному симметричному колебаниям $Si \rightarrow O \leftarrow Si$, $\delta_{as} = 450$ cm^{-1} , соответствующую деформационным дважды вырожденным колебаниям $Si-O-Si$. Также на спектре имеется четко выраженная полоса поглощения кремниевой подложки с частотой ~ 607 cm^{-1} . Установлено, что нагрев подложки приводит к сдвигу основной полосы поглощения в высокочастотную область.

Наблюдалось наличие полосы поглощения карбида кремния Si-C на частоте ~ 740 cm^{-1} . Поглощения на $\nu = 1020-1090$ cm^{-1} связи Si-O-C (оксикарбид кремния) обнаружено не было.

При наличии положительного потенциала U_m на мишени даже при холодной подложке удалось получить пленки SiOC с $\epsilon = 2,47$ и $tg\delta = 0,019$. Дальнейшая оптимизация условий нанесения позволит получать более качественные покрытия.

Литература

1. Murarka, S.P. Low dielectric constant materials for interlayer dielectric application / S.P. Murarka // Solid State Technology. – 1996. – № 3. – P. 83–89.
2. Kim, Y.H. Infrared spectroscopy study of low dielectric constant fluorine incorporated and carbon incorporated silicon oxide films / Y.H. Kim, M.S. Sung, H.J. Kim // J. of Applied Physics. – 2001. – V. 90. – № 7– P. 3367–3370.