

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

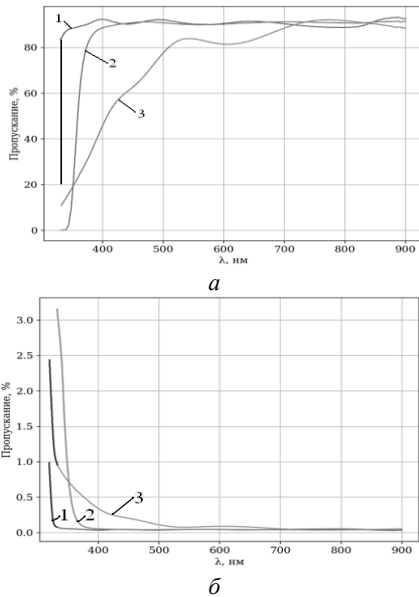


Рисунок 4 – Спектры пропускания (а) и поглощения (б) пленок SiOC:

- 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  $\beta$ - $C_3N_4$ , аналогичный  $\beta$ - $Si_3N_4$ , должен обладать твердостью, сравнимой с твердостью алмаза [1, 2].

можно объяснить десорбцией кислорода из покрытия.

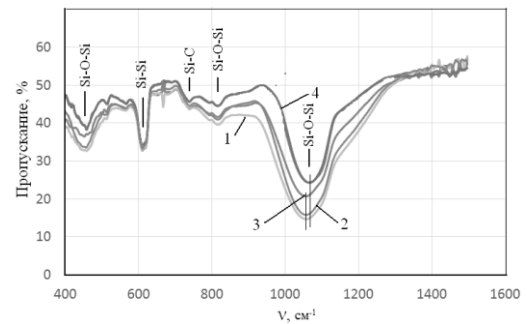


Рисунок 5 – ИК спектры пропускания пленок SiOC, полученных при различных режимах

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 кремневой подложки с частотой  $\sim 607$   $cm^{-1}$ . Установлено, что нагрев подложки приводит к сдвигу основной полосы поглощения в высокочастотную область.

Наблюдалось наличие полосы поглощения карбида кремния Si-C на частоте  $\sim 740$   $cm^{-1}$ . 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.

являются коррозионностойкими но, самое главное, они обладают значительно лучшей термостойкостью, чем алмазоподобные покрытия. В настоящее время предпринимаются значительные усилия, направленные на получение богатых азотом нитридов углерода. Предпочтительно, чтобы такие исходные вещества имели соотношение углерод:азот=3:4 и имели связь углерод-азот, аналогичную связи в нитридах кремния.

Все существующие методы получения пленок нитрида углерода можно разделить на две группы. К первой группе относятся способы, основанные на активации химических реакций газов, содержащих азот, с парами соединений, содержащих углерод. Однако эти способы требуют сравнительно высоких температур подложки и специального оборудования. Ко второй группе относятся способы реактивного и физического нанесения пленок в вакууме. Преимуществами вакуумных методов нанесения являются возможность низкотемпературного нанесения и высокая производительность, обусловленная высоким уровнем развития вакуумной напылительной техники.

Исследование процессов нанесения осуществлялось на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017, оснащённой ионно-лучевым источником на основе ускорителя с анодным слоем. Формирование покрытий из  $CN_x$  осуществлялось на подложках из кремния и стекла К8 с использованием метода реактивного ионно-лучевого распыления мишени из плотного графита высокой чистоты марки МПГ-7 ТУ 1915-051-00200851-2005 в среде аргона и азота. Внешний вид мишени из графита показан на рисунке 1. Толщина покрытий определялась с помощью микроскопа МИИ-4. Исследование оптических характеристик (коэффициенты пропускания и поглощения) покрытий осуществлялось в диапазоне 200–900 нм с помощью спектрофотометра PROSCAN MC-121. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  и сопротивления проводили на LCR измерителе E7-20.



Рисунок 1–Внешний вид мишени

Для управления электрофизическими, оптическими и механическими свойствами формируемых слоев изменялась энергия, величина и состав потока осаждаемых частиц. Напряжение на аноде составляло 3,0 кВ, ток мишени – 50 мА, рабочее давление в камере  $-6,65 \cdot 10^{-2}$  Па., парциальное давление азота–  $4,0 \cdot 10^{-2}$  Па, температура подложки –313 К. При реактивном ионно-лучевом

распылении необходимо максимально интенсифицировать процесс химического взаимодействия между распыленным материалом мишени и активным рабочим газом. Это можно осуществить путем дополнительной ионизации, как атомов мишени, так и рабочего газа вторичным плазменным разрядом, для поджига которого используется первичный ионный пучок, распыляющий мишень. Если мишень заземлить через переменный резистор, то она приобретает некоторый положительный потенциал, и между мишенью и подложкой возникает вторичный плазменный разряд.

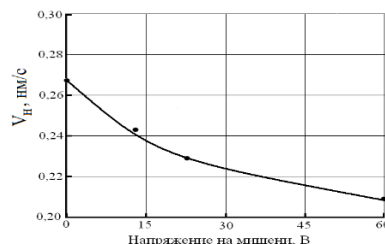


Рисунок 2 – Зависимость скорости нанесения от напряжения на мишени

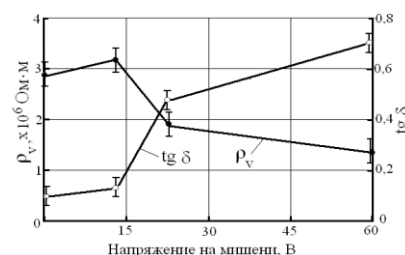


Рисунок 3 – Зависимость удельного объемного сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения на мишени

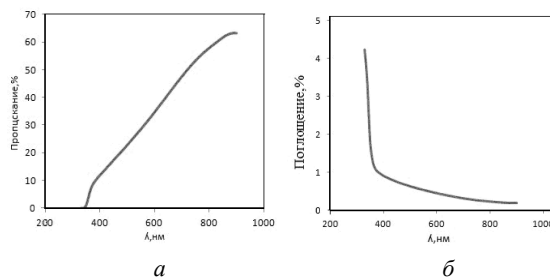


Рисунок 4 – Спектры пропускания (а) и поглощения (б) пленок  $CN_x$ , полученных при  $U_M=0$

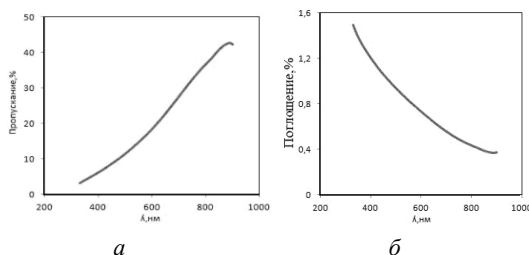
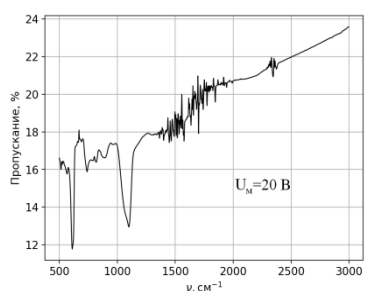
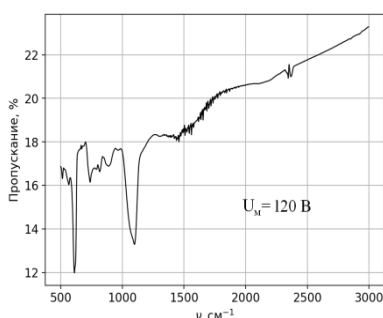


Рисунок 5 – Спектры пропускания (а) и поглощения (б) пленок  $CN_x$ , полученных при  $U_M=60$  В



а



б

Рисунок 6— ИК спектры пропускания пленок SiOC, полученных при  $U_m=20$  В (а) и  $U_m=120$  В (б)

На рисунке 2 приведена зависимость скорости нанесения от напряжения на мишени  $U_m$ . Увеличение потенциала мишени приводит к торможению ионов первичного пучка, что снижает коэффициенты распыления и скорость нанесения.

На рисунке 3 приведены зависимости удельного объемного сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения на мишени. Установлено, что при напряжении на мишени более 15 В происходит снижение удельного объемного сопротивления и рост потерь пленок

нитрида углерода, что может быть связано с воздействием заряженных частиц вторичного разряда на наносимое покрытие.

На рисунках 4, 5 приведены спектры пропускания и поглощения пленок  $CN_x$ , полученных при различных напряжениях на мишени. Установлено, что применение вторичного плазменного разряда приводит к снижению пропускания и уменьшению оптического поглощения в ультрафиолетовой и ближней видимой области спектра.

На рисунке 6 показаны ИК спектры пропускания пленок  $CN_x$ , полученных при различных напряжениях на мишени.

На спектрах пленок  $CN_x$  в диапазоне  $500 - 4000 \text{ см}^{-1}$  отмечается ряд областей поглощения, что объясняется большим разнообразием возможных химических связей азота с углеродом. Слабая область поглощения на  $700 \text{ см}^{-1}$  соответствует связанному вне плоскости графитоподобному углероду.

Проведенные исследования показали, что при распылении графитовой мишени синтезируются пленки  $CN_x$  невысокого качества, что можно объяснить низкой степенью взаимодействия между углеродом и азотом. Для интенсификации химического взаимодействия необходимо наносить покрытие на нагретую подложку.

#### Литература

1. Li, D. Ionized magnetron sputter deposition of amorphous carbon nitride thin films / D. Li, S. Lopez, Y.W. Chung, M.S. Wong, W.D. Sproul // Journal of Vacuum Science & Technology. – Vol. 13. – № 4. – 1995. – P. 60–67.
2. Boussetta, A. Physical properties of carbon nitride films deposited by electron resonance assisted vapor deposition / A. Boussetta, M. Lu, A. Bensaoula // Journal of Vacuum Science & Technology. – Vol. 13. – № 3. – 1995. – P. 25–30.