

Конференция молодых учёных ИЭФ УрО РАН

Исследование влияния параметров разряда с самонакаливаемым полым катодом и секционным анодом на степень активации парогазовой среды

Докладчик: Брюханова Юлия Андреевна (аспирант, 1 год обучения)

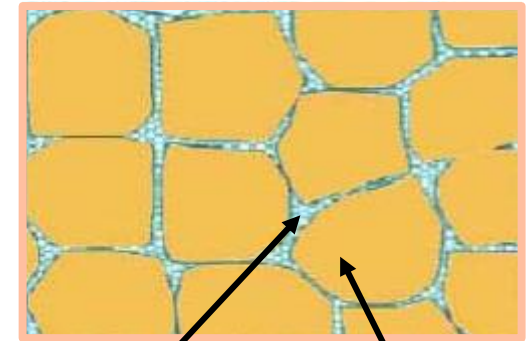
Руководитель: Меньшаков Андрей Игоревич (н. с., к. т. н.)

Екатеринбург, 2022 г

Покрyтия Ti-Si-C-N

Достоинства

- Высокая термостойкость, позволяющая сохранять высокую твердость (до 55 ГПа) до 800°C
- Стойкость к окислению до 900°C
- Низкий коэффициент трения
- Превосходная износостойкость по сравнению с обычными нитридными или карбонитридными покрытиями



аморфная
матрица

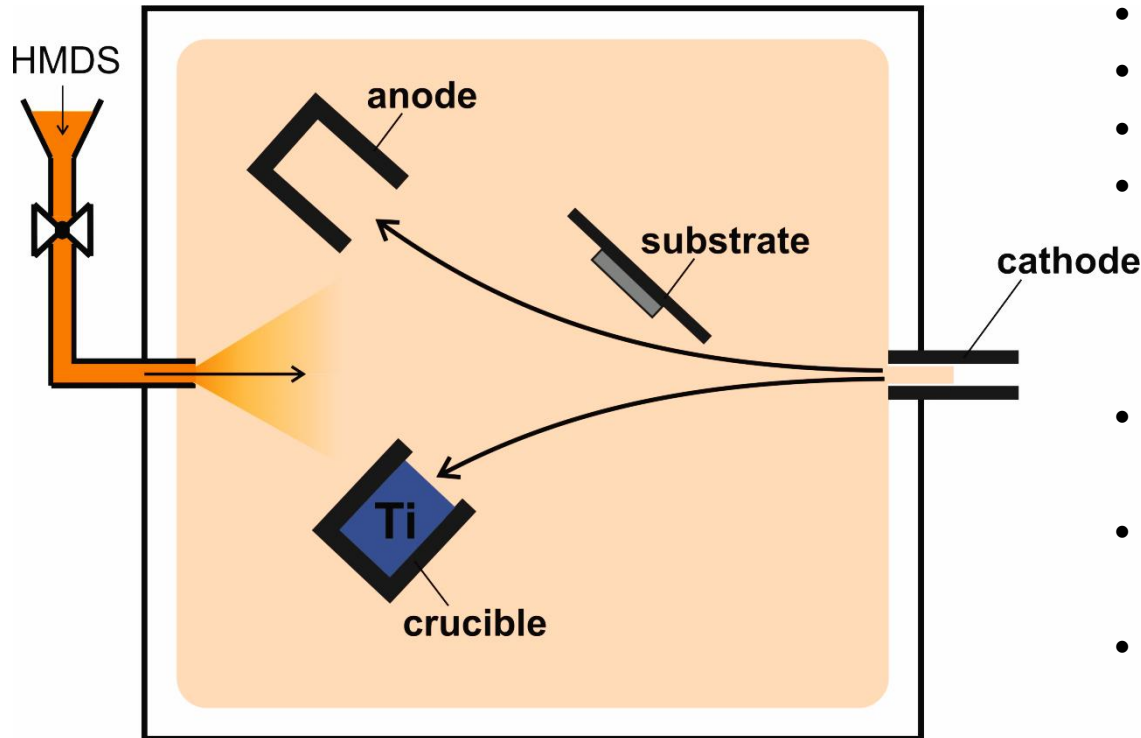
наноразмерные
кристаллиты

Применение

- В качестве защиты компонентов от агрессивных сред, включая высокоскоростную резку в сухих или почти сухих условиях
- В качестве износостойких покрытий поршневых колец, компонентов протезов

Метод получения покрытий Ti-Si-C-N

Достоинства метода получения



- Безопасность
- Экологичность
- Производительность
- Возможность контролировать изменения различных условий обработки
- Высокие скорости осаждения
- Отсутствие микрокапель в вакуумной среде
- Относительно низкие энергозатраты

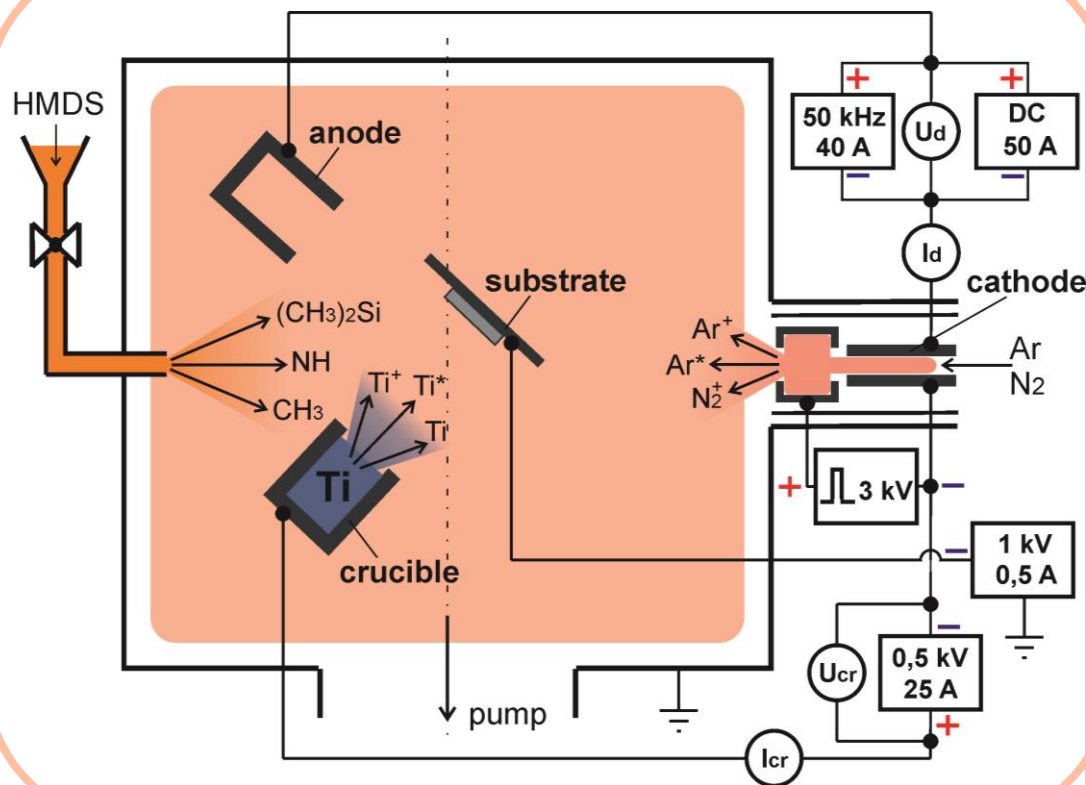
Цель

Исследование влияние условий генерации плазмы на состав активной парогазовой среды

Задачи

- **Исследование влияния условий генерации плазмы на:**
 - температуру электронов и потенциал плазмы
 - степень диссоциации азота (N_2)
 - разложение ацетилена (C_2H_2)
 - активацию паров титана (Ti)
 - разложение гексаметилдисилазана ($[(CH_3)_3Si]_2NH$)

Схема экспериментальной установки



Используемые газы:

Ar (100 sccm), N₂ (10 – 50 sccm),
C₂H₂ (1 – 20 sccm)

Используемый прекурсор:

гексаметилдисилазан $[(CH_3)_3Si]_2NH$
(0,25 – 1 g/h)

Рабочий диапазон давлений:

0,8 – 2 mThorr

Диапазон тока разряда:

10 – 50 A

Диапазон тока тигля:

2 – 12 A

Катод: TiN, внутренний диаметр 6 мм,
внешний 10,5 мм, длина 70 мм

Охлаждаемый полый анод:

сталь 12X18H10T

Неохлаждаемый анод – тигель:

графит МПГ-7, диаметр выходной
апертуры 7 мм

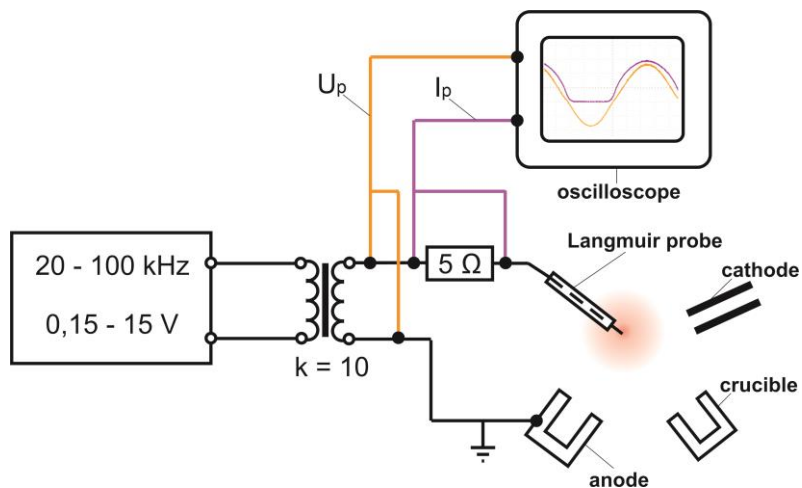
U_d – напряжение в цепи катод – анод

I_d – ток основного разрядного промежутка

U_{cr} – напряжение в цепи катод – тигель

I_{cr} – ток в цепи тигля

Схема зондовых измерений



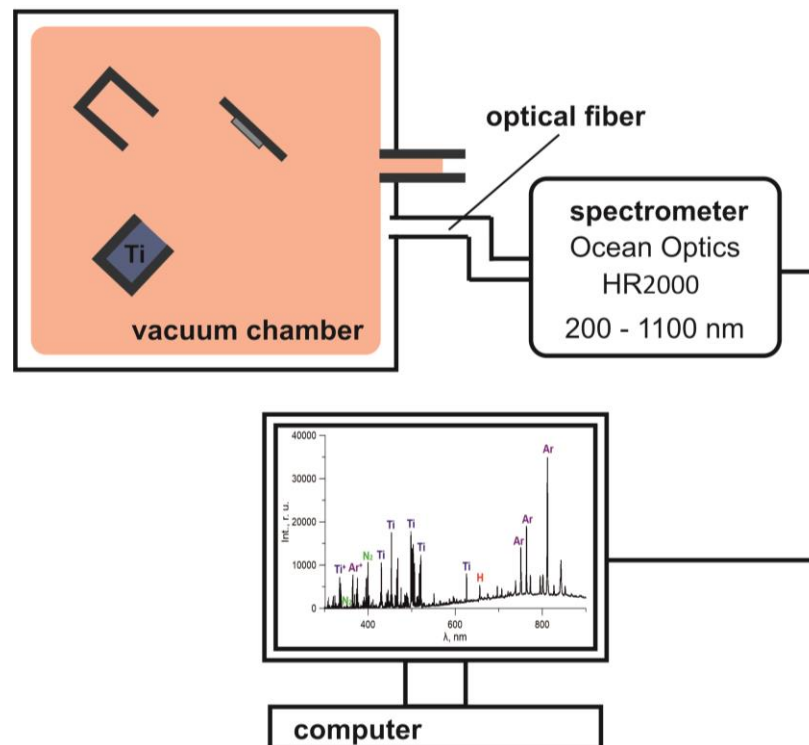
$$Te = \frac{e}{k} \cdot \frac{1}{\frac{d \ln I_p}{d U_p}}$$

U_p – напряжение зонда

I_p – ток, приходящий на зонд

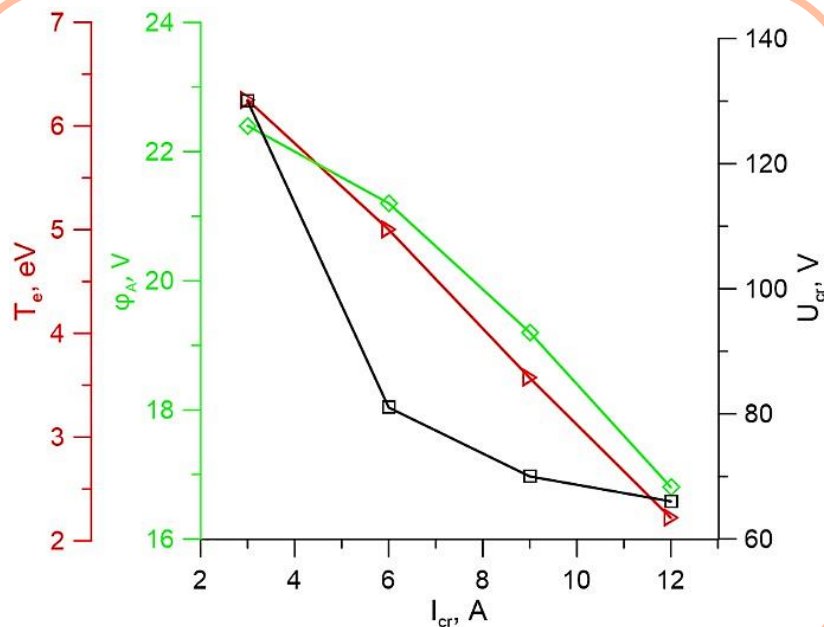
K – коэффициент трансформатора

Схема спектрального анализа



Результаты зондовых измерений

Влияние тока в цепи катод – тигель на электронную температуру и потенциал плазмы



T_e – температура электронов

ϕ_A – потенциал плазмы относительно анода

I_{cr} – ток в цепи тигля

U_{cr} – напряжение в цепи тигель – катод

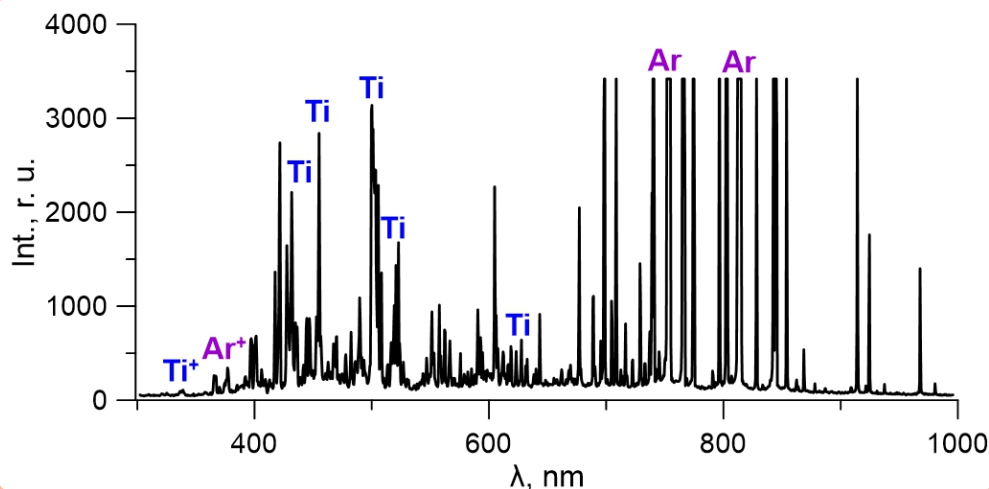
I_d – ток разряда

U_d – напряжение в цепи катод – анод

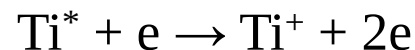
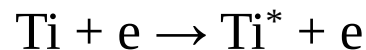
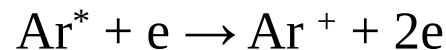
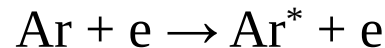
Влияние тока в цепи катод – анод

I_d , A	U_d , B	ϕ_A , B	T_e , эВ
10	72	-27,8	5,58
30	63	-26,5	5,64
50	63	-29,9	5,00

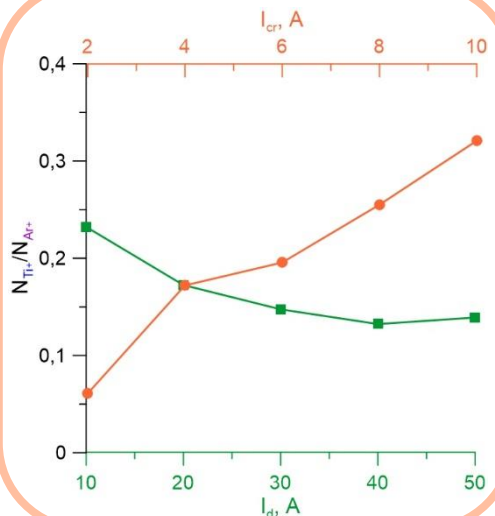
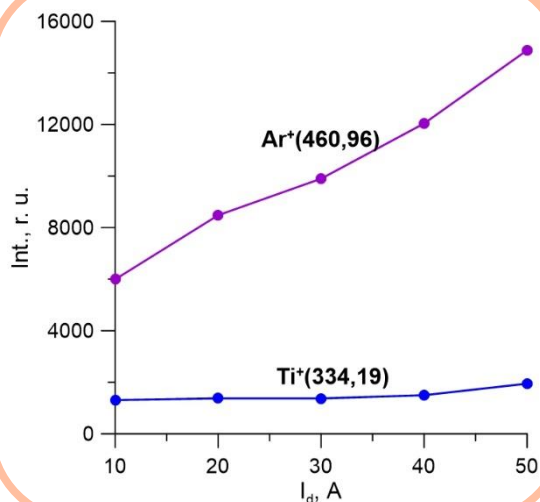
Результаты оптической эмиссионной спектроскопии плазмы Ar – Ti.



Активация парогазовой среды



$$\frac{N_i}{N_j} = \frac{I_i}{I_j} \cdot \frac{(h\nu)_j \cdot b_j \cdot \tau_j \cdot A_j}{(h\nu)_i \cdot b_i \cdot \tau_i \cdot A_i}$$



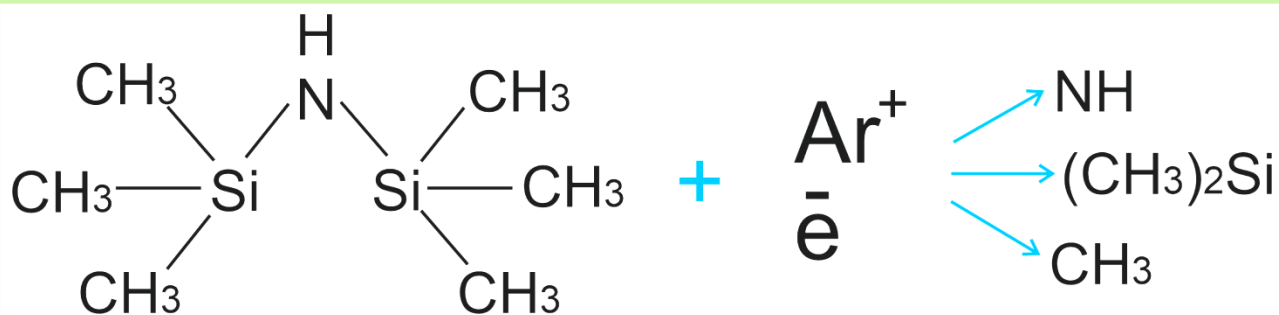
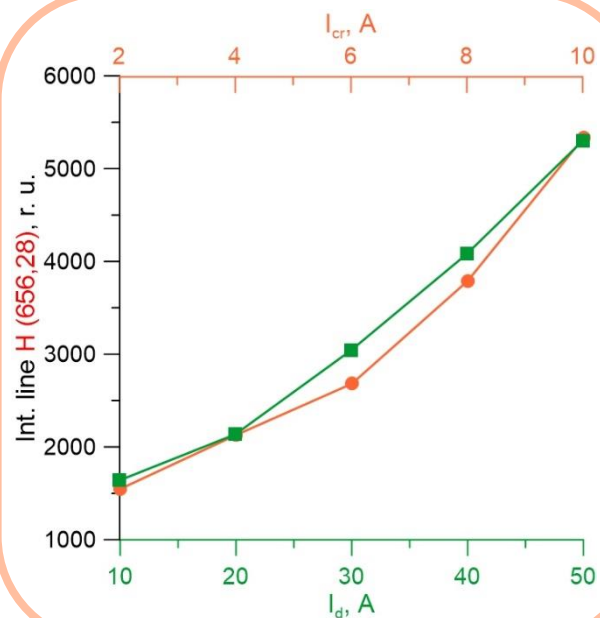
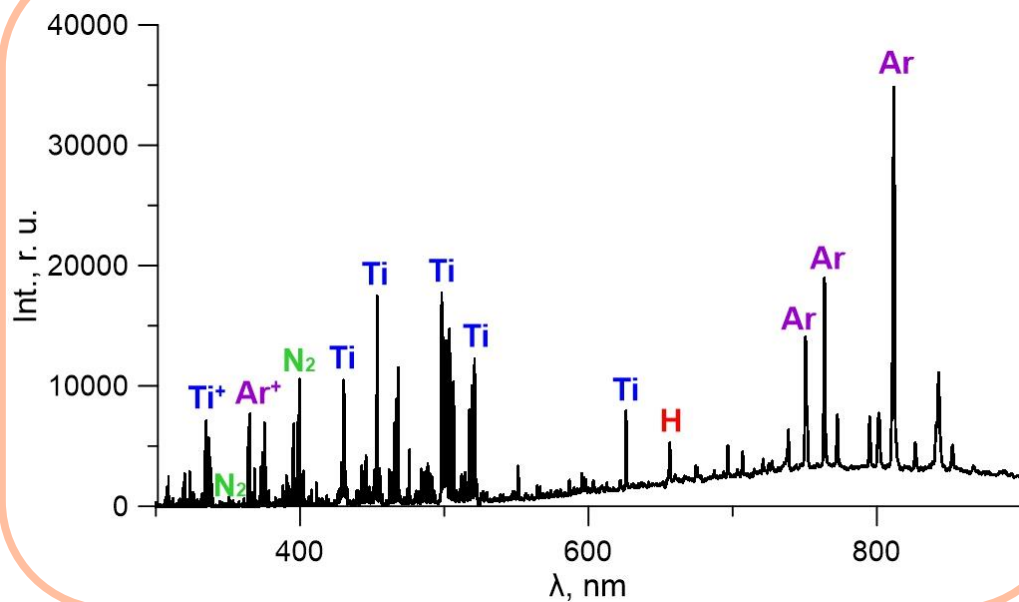
b_{ij} – сечения возбуждения энергетического состояния

A_{ij} – коэффициенты Эйнштейна

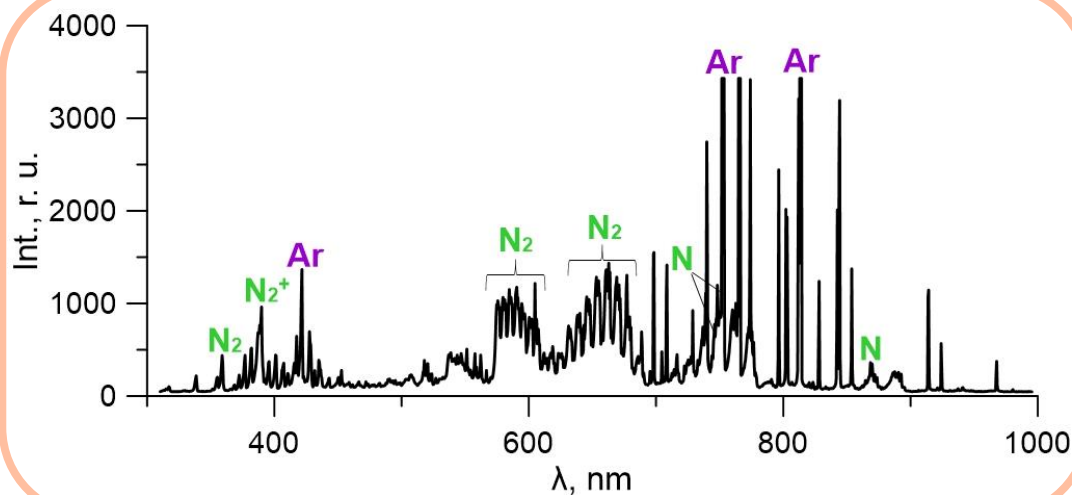
τ_{ij} – время жизни состояния

$h\nu_{ij}$ – энергия перехода

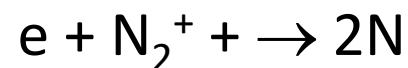
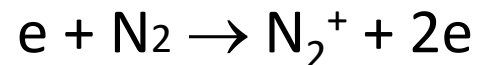
Разложение гексаметилдисилазана (ГМДС)



Результаты оптической эмиссионной спектроскопии плазмы Ar – N₂.

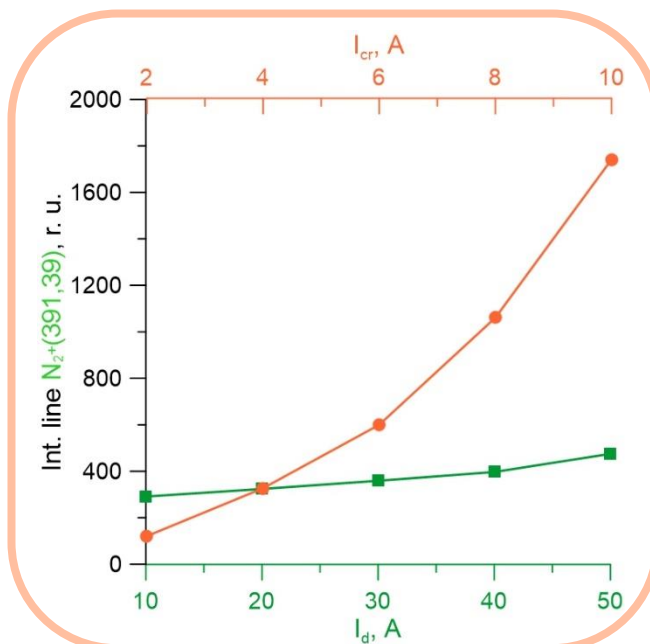


Диссоциация азота



Расчёт степени диссоциации

$$D = \frac{N_i}{N_j} = \frac{I_i}{I_j} \cdot \frac{(h\nu)_j \cdot \tau_j \cdot A_j}{(h\nu)_i \cdot \tau_i \cdot A_i}$$



$Q_{N_2^+}$ см ³ /мин	N_N/N_{N_2}
0	0,000
10	0,041
20	0,047
30	0,050
40	0,051
50	0,052

Результаты оптической эмиссионной спектроскопии плазмы Ar – C₂H₂.

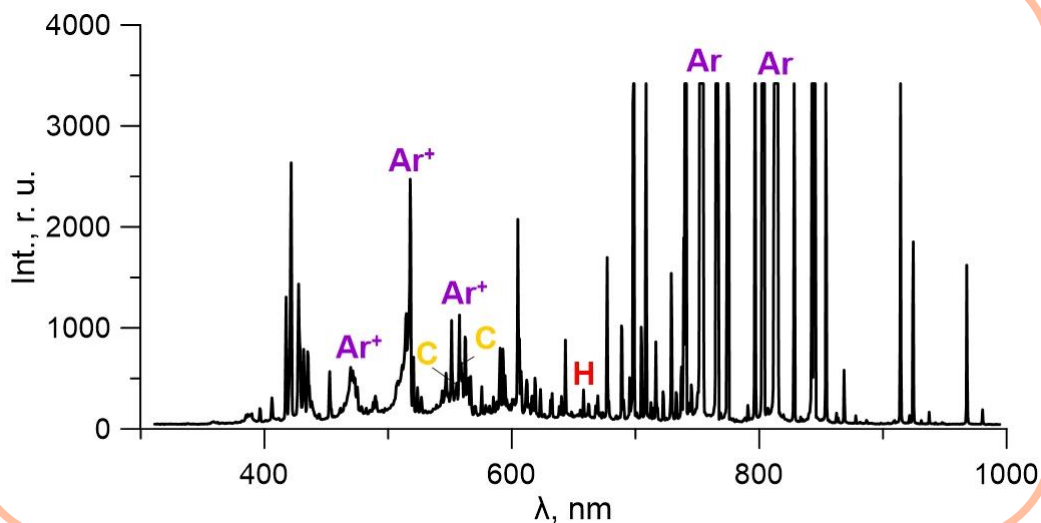
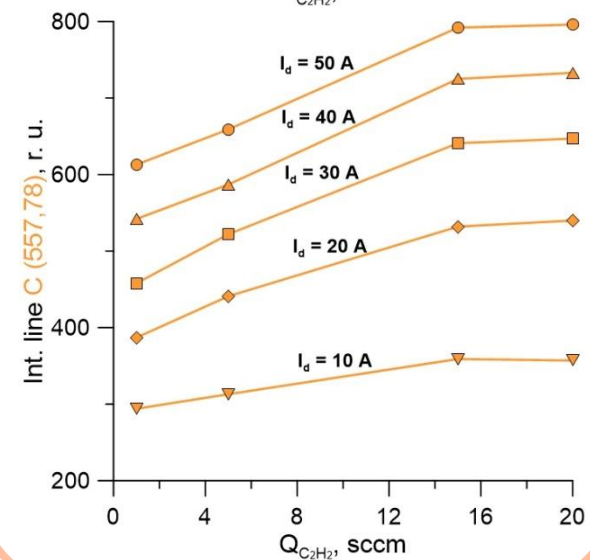
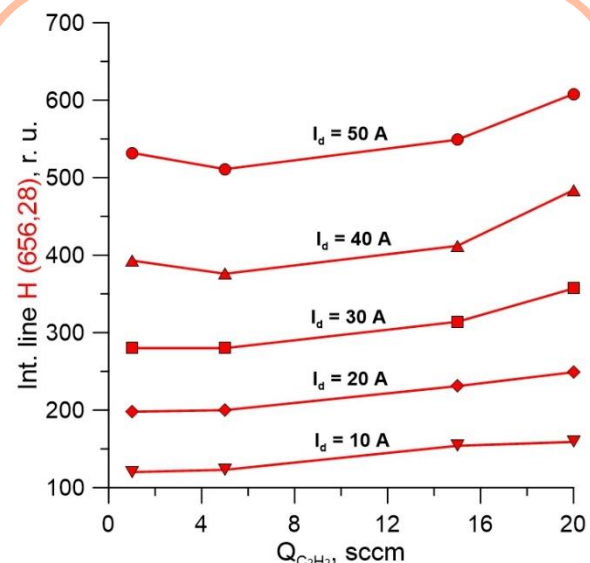
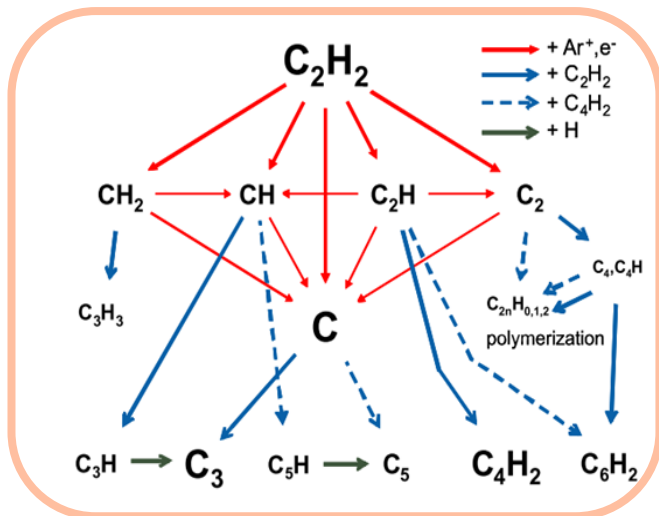
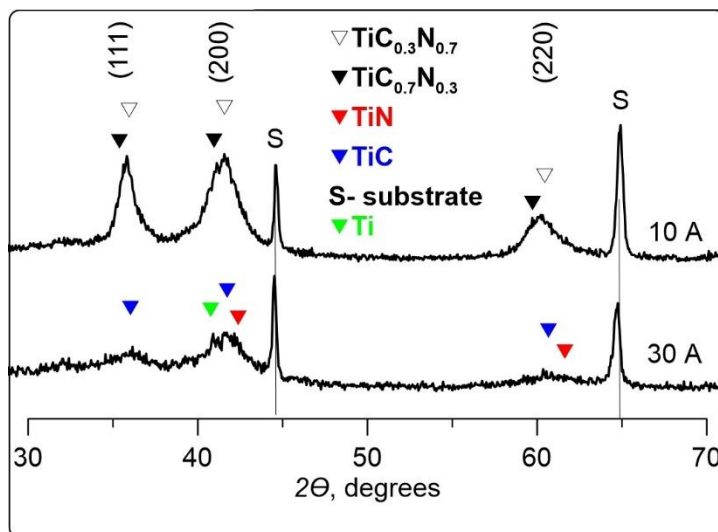
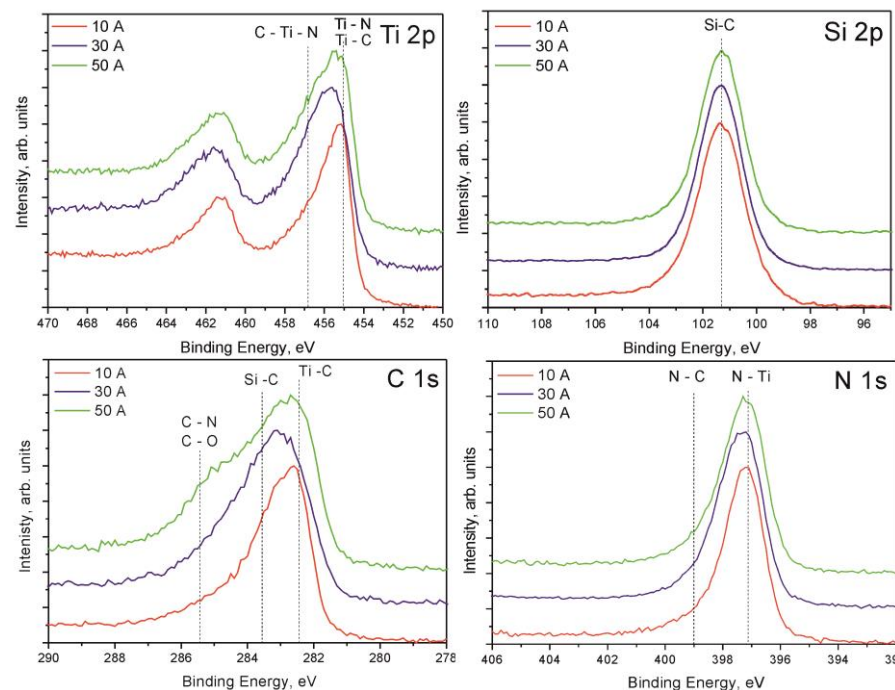
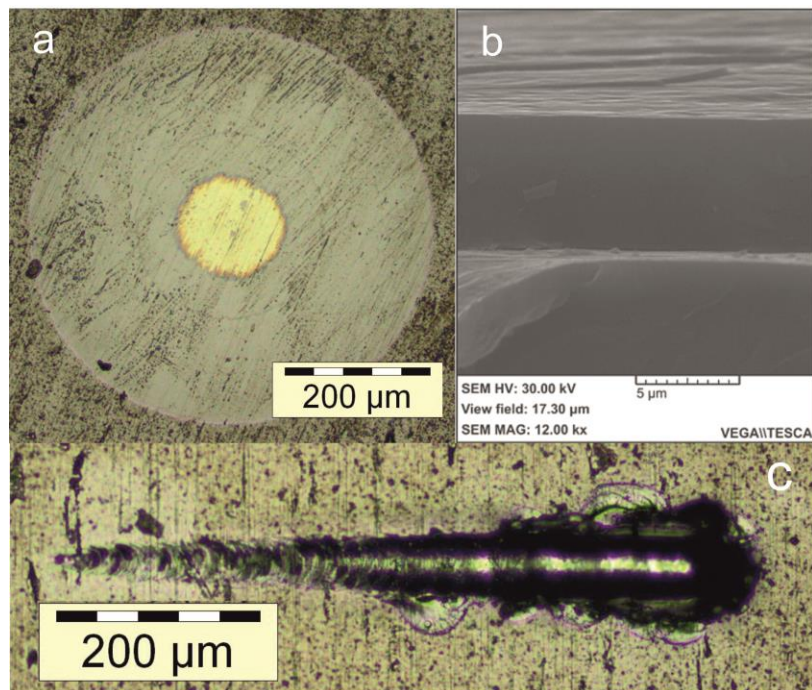


Схема разложения ацетилена



Нанесение тестовых нанокompозитных TiSiCN покрытий



Используемые газы: Ar (100 sccm), N₂ (7 sccm),

Прекурсор: [(CH₃)₃Si]₂NH (0,5 g/h)

Скорость нанесения: до 10 μm/h

Толщина покрытия: 7 μm

Полученная твёрдость: до 30 ГПа

Заключение

- Таким образом исследовано влияние условий генерации плазмы на состав активной парогазовой среды
- Рассчитаны параметры плазмы с помощью зондового метода: при изменении тока тигля от 3 до 12 А, температура электронов уменьшается с 6 до 2 эВ, потенциал плазмы уменьшается с 22 до 16 В, на данные параметры существенно влияет металлическая составляющая плазмы
- Данный метод обеспечивает эффективное разложение ацетилена C_2H_2 , активацию паров титана Ti (доля ионов Ti^+ составляет 20 – 30 % по отношению к Ar^+); разложение гексаметилдисилазана $[(CH_3)_3Si]_2NH$ и диссоциацию N_2 (степень диссоциации составляет 4- 5 %)
- Получены тестовые TiSiCN покрытия с нанокомпозитной структурой твёрдостью до 30 ГПа, толщиной до 7 мкм с хорошей адгезией
- Результаты опубликованы в журнале Membranes (q1): 2022, 12, 321.
<https://doi.org/10.3390/membranes12030321>

Спасибо за внимание!