

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского»

Физический факультет

Кафедра экспериментальной физики и радиофизики

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АЗОТ-АРГОН-АЛЮМИНИЕВОЙ ПЛАЗМЫ.

Студентка группы ФРБ-602-О-01 Безрукова И.А.
Научный руководитель к.ф.-м.н., доцент Худайбергенов Г. Ж.

Омск –
2020

Цель работы:

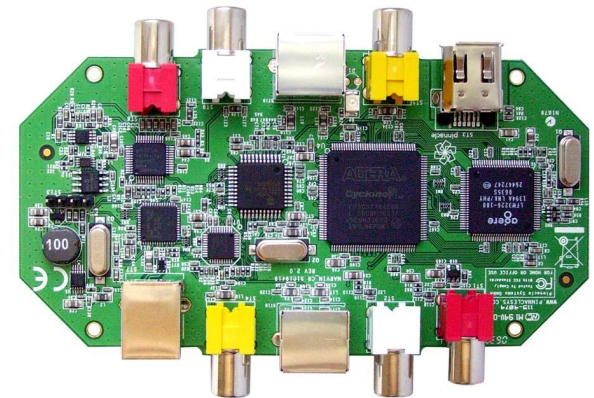
- Расчет химического состава Ar/N₂/Al плазмы газового разряда.

Задачи:

- Провести литературный обзор по нитриду алюминия.
- Составление балансных уравнений химической кинетики.
- Расчет химического состава на основе модели процессов, протекающих в плазме смеси аргон (Ar), азот (N), алюминий (Al)

Актуальность

- изолирующий слой в полупроводниковых приборах;
- пассивирующий слой в полупроводниковых приборах;
- устройства на поверхностно-акустических волнах (ПАВ);
- микро- и нано-электромеханические системы (MEMS, NEMS);
- объемные акустические волны (ОАВ) для резонаторов и фильтров с высокочастотными элементами связи.



В качестве ключевых элементов химической модели смеси аргон (Ar), азот (N), алюминий (Al) в плазме газового разряда взяты следующие частицы N , N^+ , N_2 , N_2^* , N_2^+ , Ar^* , Ar^+ , Ar , e^- и Al^+ .

Основные положения модели:

- (1) плотности частиц усреднены по объему.
 - (2) для упрощения рассматривается одно эквивалентное возбужденное состояние N_2 в плазме. Генерация N_2^* определяется из общего сечения электронного возбуждения для N_2 .
 - (3) из-за низкой вероятности реакции при интересующих давлениях столкновения трех тел не включены в модель (10–40 мТорр).
 - (4) предполагается, что нейтральная и ионная температуры равны температуре газа N_2 .
 - (5) электронная диссоциация иона азота N_2^+ не учтена, поскольку молекулярная плотность ионов относительно мала по сравнению с плотностью N_2 .
 - (6) распыленные атомы Al полностью термализуются при столкновении с газовой смесью Ar/ N_2 .
 - (7) из-за отсутствия данных о сечении ионизации возбужденного состояния Al ($Al^* + e^- \rightarrow Al^+ + 2e^-$) предполагается, что Al^+ генерируется только одноступенчатым энергетическим процессом электронного удара $Al + e^- \rightarrow Al^+ + 2e^-$ и пеннинговской ионизацией $Al + Ar^* \rightarrow Al^+ + Ar + e^-$.
 - (8) нитрид алюминия образуется на подложке.
- Поэтому реакциями $Al_{gas} + N_{gas} \rightarrow AlN_{gas}$ в газовой фазе можно пренебречь [22].

ТАБЛИЦА 1 - Основные константы скорости для плазмы Al/Ar/N₂.

Реакция	Константы скорости	Ссылка
		[24]
		[25]
		[26]
		[27]
		[28]
		[29]
		[30]
		[31]
		[30]
		[32]
		[33]
		[34]
		[35]
		[36]
		[36]
		[37]

ТАБЛИЦА 2 - Уравнения баланса частиц для плазмы Al/Ar/N₂.

N	

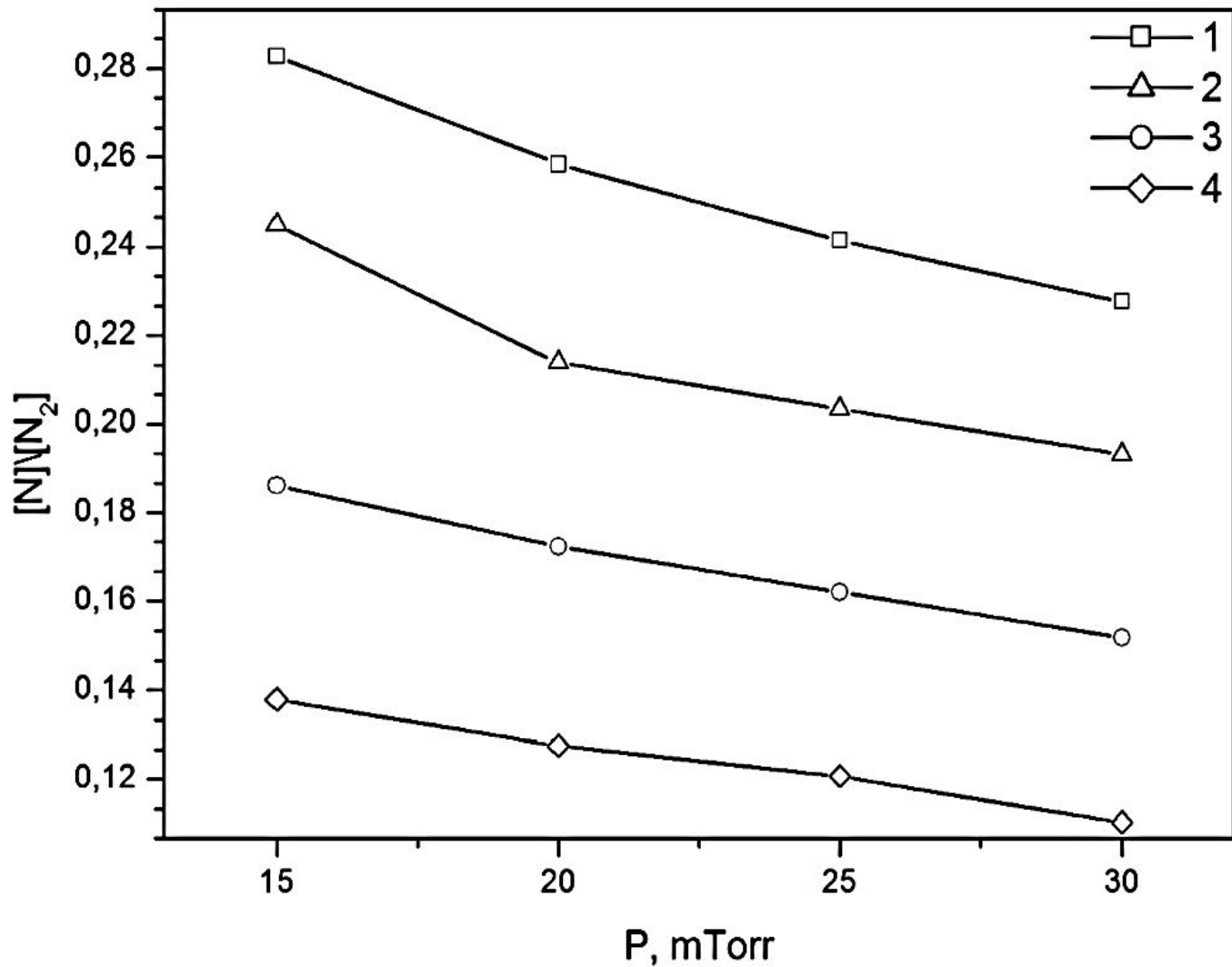


Рис.1 – Степень диссоциации азота в зависимости от давления и мощности, $[N_2]/[Ar]=1/10$.

1- 1500Вт, 2-1250Вт, 3-1000Вт, 4-750Вт.

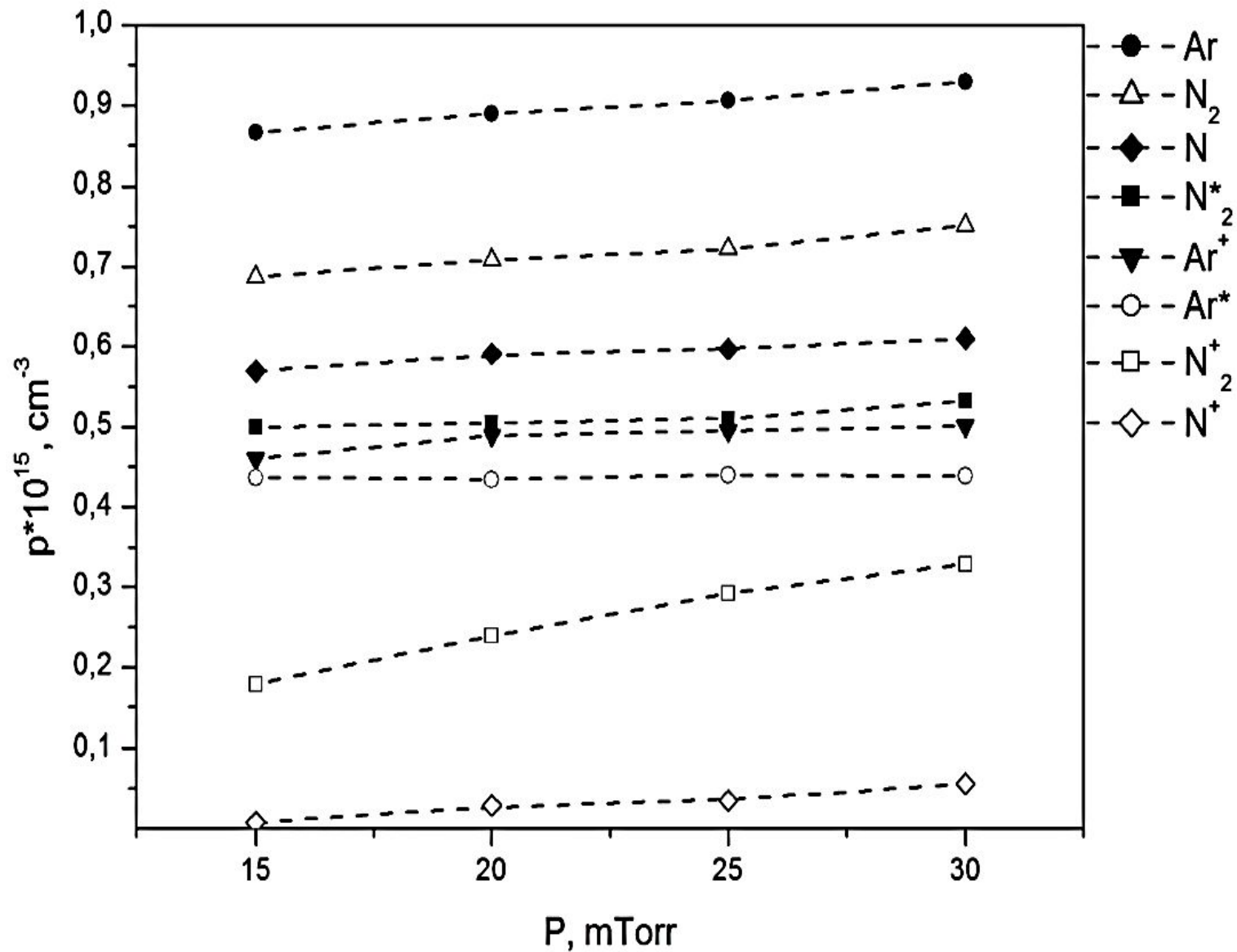


Рис.2 - Плотности частиц смеси Ar/N₂ в зависимости от давления при мощности разряда 1 кВт.

• $\frac{\Gamma_{Al^+}}{(\Gamma_{Al} + \Gamma_{Al^+})}$ – доля потока Al^+ достигающего подложку.

Поток атомов Al к подложке:

$$\Gamma_{Al} = \frac{1}{4} v_{th_Al} [Al] = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{8k_B T_{gas}}{\pi M_{Al}}} [Al], \text{ } 1/(\text{см}^2 * \text{с})$$

Поток ионов Al на подложку:

$$\Gamma_{Al^+} = 0.61 [Al^+] \sqrt{\frac{k_B T_e}{M_{Al^+}}}, \text{ } 1/(\text{см}^2 * \text{с})$$

где: v_{th_Al} - средняя тепловая скорость (см/с) Al; T_{gas} - температура газа, К; k_B – постоянная Больцмана, эрг/К; T_e – температура электронов, К; M_{Al^+} – масса иона, г.

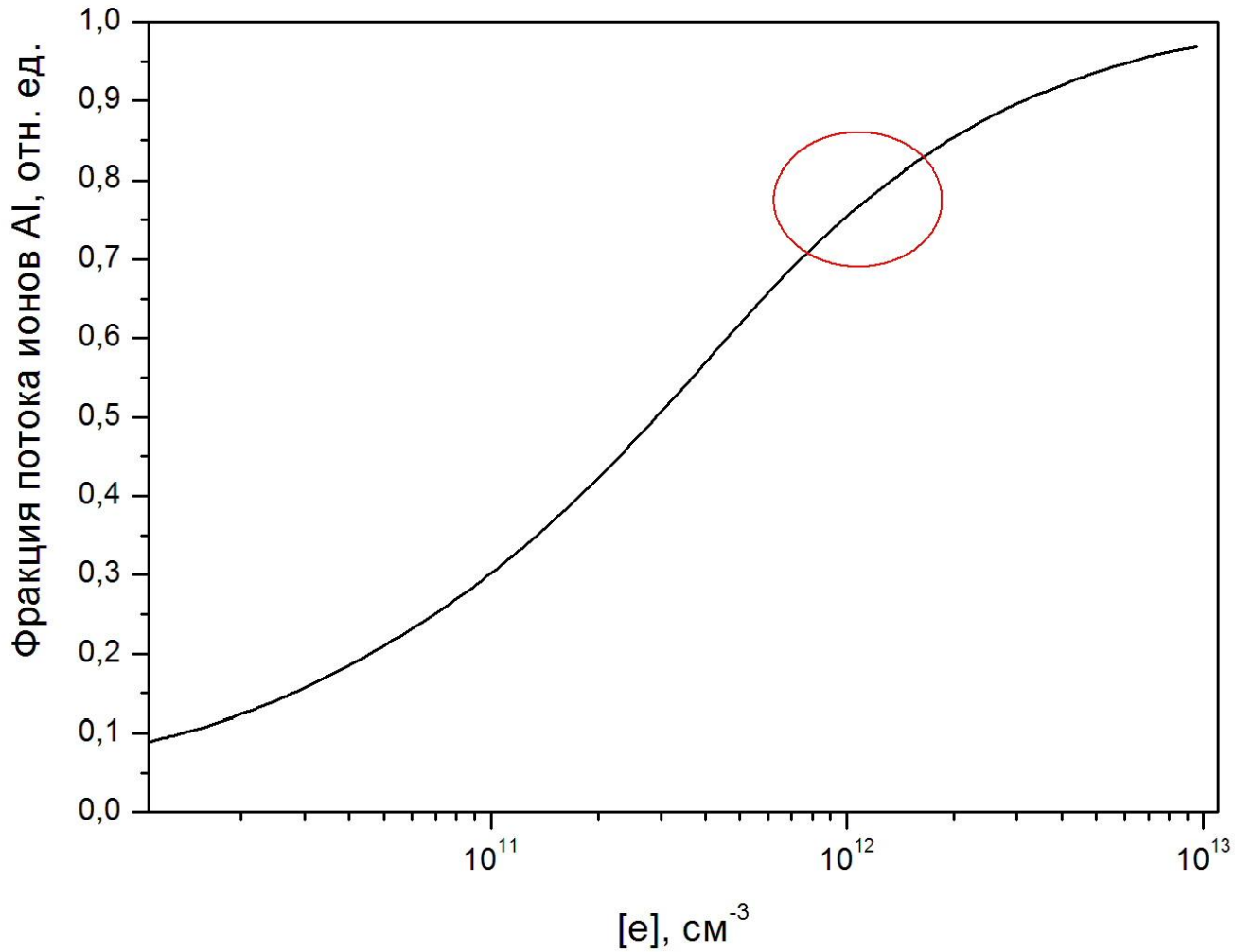


Рис.3 - Фракция потока ионов Al в зависимости от концентрации электронов.

Выводы. Заключение.

- Диссоциация N_2 находится в диапазоне 10% - 30% и увеличивается с увеличением мощности плазмы.
- Наличие N_2 в плазме приводит к снижению плотности ионов из-за энергии, которая расходуется на нейтральные молекулярные столкновения. Общая плотность ионов находится в диапазоне $2 - 6 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Этот диапазон плотности плазмы достаточен для образования относительной доли потока (Al^+) на подложку $\sim 0,45 - 0,85$.
- Поскольку N_2 , имеет гораздо более низкую долю ионизации ($\sim 0,01$), чем Al (энергия ионизации алюминия 5,98 эВ), из-за более высокого потенциала ионизации N_2 (15,6 эВ). Это позволяет предположить, что нитрид алюминия осаждается на поверхности подложки с высокой долей потока Al^+ в сочетании с потоком нейтральных молекул N_2 с низким коэффициентом прилипания ($\sim 0,003$) и относительно небольшим потоком ионов азота.

В результате проведенных исследований удалось разработать модель, которая адекватно описывает газоразрядную плазму при осаждении тонких пленок нитрида алюминия. Необходимо напрямую сопоставить полученные результаты с экспериментальными данными, чтобы однозначно утвердить правильность данного подхода в моделировании азот-аргон-алюминиевой плазмы.

Список использованной литературы.

- [1] A. E. Wickenden, L. J. Currano, T. Takacs, J. Pulskamp, M. Dubey, S. Hullavarad, R. D. Vispute. Pulsed Laser Deposition of Thin Films: Applications-Led growth of functional materials. //Integrated Ferroelectrics (2003), p 54, p 565.
- [2] W. J. Liu, S. J. Wu, C. M. Chen, Y. C. Lai, C. H. Chuang, J. Cryst. Control of in-plane and out-of-plane texture in shear mode piezoelectric ZnO films by ion-beam irradiation. // Growth, p 276, p 525, (2005).
- [3] R. C. Turner, P. A. Fuierer, R. E. Newnham, T. R. Shrout, T. R. Appl. [Ceramic Materials and Multilayer Electronic Devices. //Acoust. 41299 \(1994\).](#)
- [4] M. Akiyama, T. Kamohara, K. Nishikubo, N. Ueno, H. Nagai, T. Okutani. AlN texturing and piezoelectricity on flexible substrates for sensor applications. //Appl. Phys. Lett. (2005), p 86, p 022, p 106.
- [5] D. Yin, Y. Li, Y. Shao, X. Zhao, S. Yang, L. Fan, J. Fluorine Chem. Advanced Polyimide Materials: Synthesis, Characterization, and Applications. (2005), p 126, p 819.
- [6] M. Akiyama, C. N. Xu, K. Nonaka, K. Shobu, T. Watanabe. Characteristics of AlN thin films deposited by electron cyclotron resonance dual-ion-beam sputtering and their application to GHz-band surface acoustic wave devices. //Thin Solid Films (1998), p 315, p 62.
- [7] Сартаков А. В., Худайбергенов Г. Ж. Моделирование кинетики электронного газа азот – алюминиевой плазмы тлеющего разряда. //Вестник ОмГУ №4,Т.54, 2009, с.80-81.
- [8] Белянин А. Ф., Выращивание плазменными методами пленок алмаза и родственных материалов (алмазоподобных, нитрида алюминия, оксида цинка) и применение многослойных структур на основе этих пленок в микро- и акустоэлектронике.) //Диссертация (2002).
- [9] M. Morita, S. Isogai, N. Shimizu, K. Tsubochi, and N. Mikoshiba, Considerations in Further Development of Aluminum Nitride as a Material for Device Applications. //Jpn. App. Phys. 20, (1981), p 173.
- [10] S. Mirsch and H. Reimer, Impact of the silicon substrate resistivity and growth condition on the deep levels in Ni-Au/AlN/Si MIS Capacitors. //Phys. Status Solidi 11, (1972), p 631.

**Спасибо за
внимание!**

- [11] J. J. Hantzpergue, Y. Pauleau, and H. C. Remy, //Thin Solid Films (1981), p 75, p 167.
- [12] T. Shiosaki, T. Yamamoto, T. Oda, and A. Kawabata, Composite substrate material for surface acoustic-wave oscillator //App. Phys. Lett. (1980), p 36, p 643.
- [13] E. V. Gerova, N. A. Inanov, and K. I. Kirov K. J. Deposition of AlN thin films by magnetron reactive sputtering. //Thin Solid Films p 81, p 201 (1981).
- [14] Пащенко П. В., Магнетронные методы выращивания пленок AlN для устройств электронной техники. Диссертация 1998г.
- [15] Лесунова, Р.П. О влиянии кислорода и влаги на электрохимические свойства нитрида алюминия / Р.П. Лесунова, С.Ф. Пальгуев, Е.И. Бурмаки // Неорганические материалы. – 1998. – Т. 1, № 34. – С. 47–51.
- [16] Самсонов, Г.В. Технология получения нитрида алюминия и возможности его промышленного использования / Г.В. Самсонов, Т.В. Дубовик // Цветные металлы. – 1962. – № 3. – С. 56–61.
- [17] Самсонов, Г.В. Получение и методы анализа нитридов / Г.В. Самсонов, О.П. Кулик, В.С. Полищук. – К.: Наукова думка, 1978г. с 132.
- [18] Самсонов, Г.В. Азотирование порошка алюминия под давлением / Г.В. Самсонов, Ю.Д. Репкин Ю.Д. // Порошковая металлургия. – 1965. – № 2. – С. 1–3.
- [19] Lan Y.C. et al. Low-temperature synthesis and photoluminescence of AlN // Journal of Crystal Growth. (1999). № 207. С. 247–250.
- [20] Самсонов, Г.В. Получение и методы анализа нитридов / Г.В. Самсонов, О.П. Кулик, В.С. Полищук. – К.: Наукова думка, 1978г. с 132.

- [21] Гран, Ю.М. Физико-химические свойства и основные методы получения нитрида алюминия / Ю.М. Гран, Л.Д. Сабанова. – М.: ГИРЕДМЕТА, 1970г. с 216.
- [22] I. Petrov, A. Myers, J. E. Greene, and J. R. Abelson, Process Diagnostics. //J. Vac. Sci. Technol. A 12, 2846 (1994).
- [23] C. Lee and M. A. Lieberman, Scaling laws for oxygen discharge plasmas. //J. Vac. Sci. Technol. A 13, 368 (1995).
- [24] E. Brook, M. F. A. Harrison, and A. C. H. Smith, Some Experimental Aspects of Inelastic Electron-Atom Collisions and Collisions between Charged Particles. //J. Phys. B 11, 3115 (1978).
- [25] T. D. Mark, High-Resolution Translational Energy Spectrometry of Molecular Ions. //J. Chem. Phys. 63, 3731 (1975).
- [26] P. C. Cosby, Capillary nanosecond discharges as a tool for the measurement of quenching coefficients at high specific energy deposition. //J. Chem. Phys. 98, 9544 (1993).
- [27] D. I. Slovetsky, Chemical Reaction Mechanisms in Nonequilibrium Plasmas //Nauka, Moscow, (1980), p. 179.
- [28] D. L. Albritton, NUCLEAR DATA STANDARDS FOR NUCLEAR MEASUREMENTS. //At. Data Nucl. Data Tables 22, 1 (1978).
- [29] L. G. Piper, Correlations Between Active Plasma Species and Steel Surface Nitriding in Microwave Post-Discharge Reactors. J. Chem. Phys. p 91, p 864 (1989).
- [30] D. E. Shemansky, The Nitrogen Afterglow. //J. Chem. Phys. p 51, p 689 (1969).