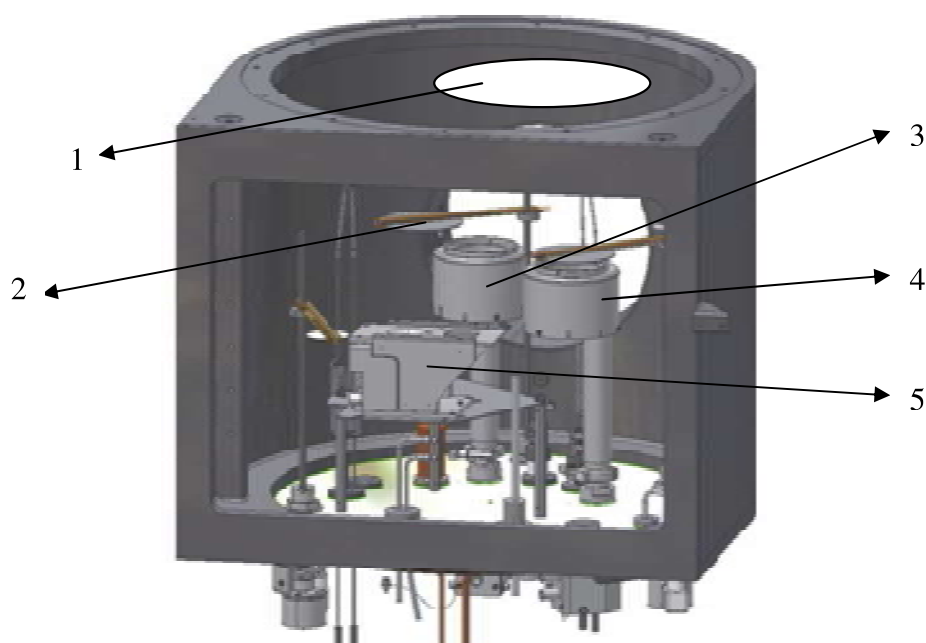


Vrstvy byly deponovány v depozičním systému BOC Edwards TF 600 (obr. 2.2 viz níže). Před depozicí byla komora vyčerpána na tlak menší než  $2 \cdot 10^{-4}$  Pa rotační a turbo-molekulární pumpou. Vrstvy  $\text{TiO}_2$  byly naprášeny z titanového terče (čistota Ti 99,99 %, průměr terče je 72,6 mm) v argonu a kyslíku. Depoziční parametry jsou uvedeny v Tab. 2.1. Vrstvy byly deponovány na Si (100) substráty. Tyto substráty byly na plovoucím potenciálu, nebyly externě vyhřívané, ale v průběhu depozice vzrostla jejich teplota na 136 °C. Teplota byla měřena termočlánkem ve stolku, na kterém byly substráty umístěny.

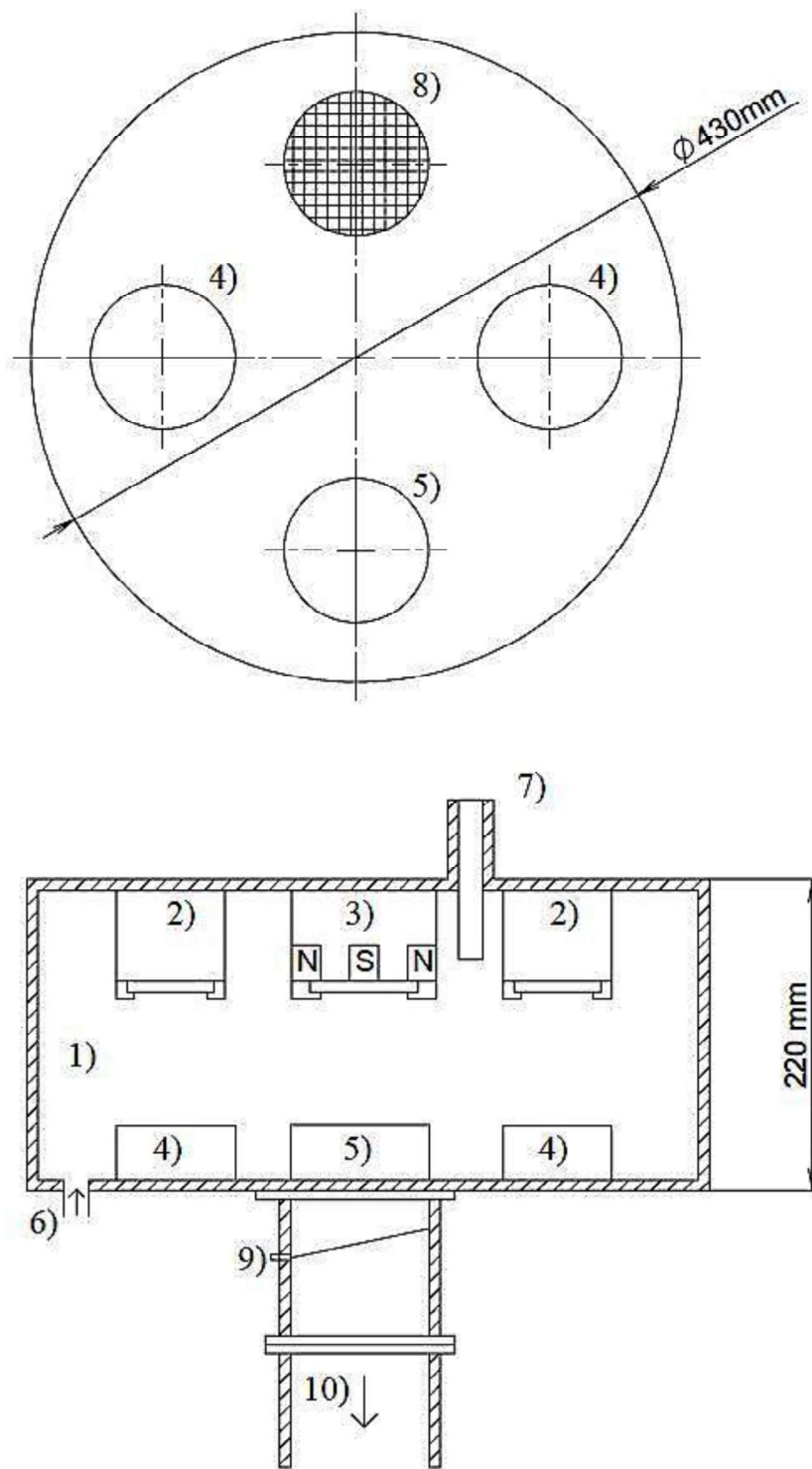


Obr. 2.2 BOC Edwards TF 600 - schéma komory; (1) držák substrátu, (2) clonka, (3) RF zdroj, (4) DC zdroj, (5) napařování el. svazkem

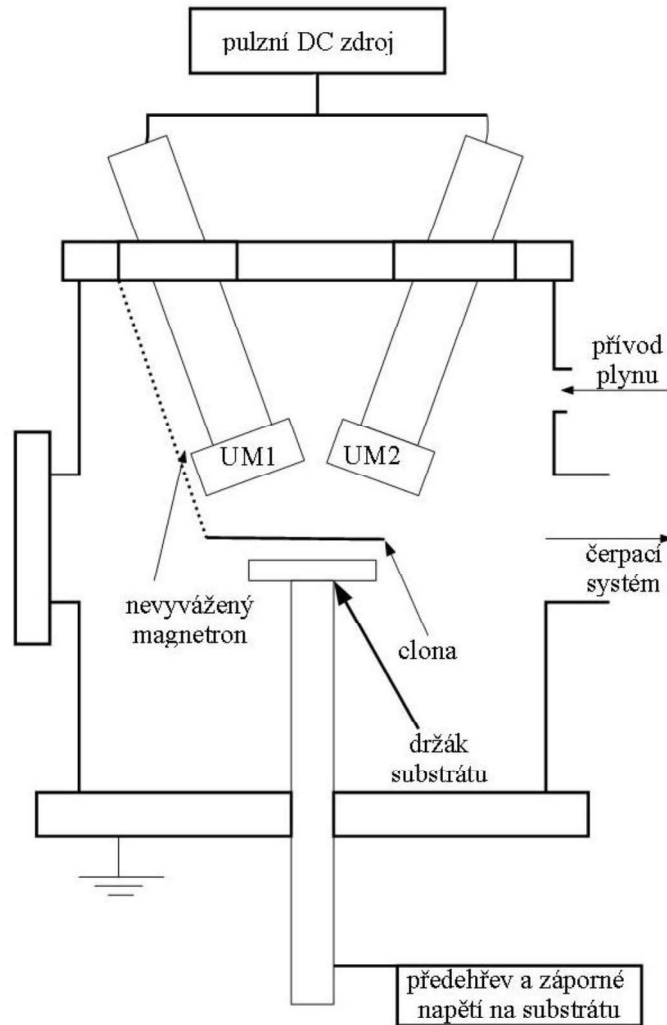
Pro zajištění homogenity byl substrát umístěn mimo oblast terče a stolek se substráty rotoval. Substrát nebyl umístěn přímo nad terčem z důvodu vysokoenergetických kyslíkových iontů  $\text{O}_2$ . Tyto ionty vznikají na povrchu terče roztržením vazby Ti - O a jsou urychlovány napětím na terči, v našem případě - 1000 V. Dopad iontů zásadně ovlivňuje strukturu vrstvy. [2]

Tab. 2.1 Parametry depozice, výkon na terči  $P_t$ , čas depozice  $t$ , průtok argonu  $\Phi_{ar}$ , průtok kyslíku  $\Phi_{O_2}$ , napětí na terči na konci depozice  $U_t$ , celkový tlak v komoře  $p_r$ .

$P_t$ [W]	$t$ [min]	$\Phi_{ar}$ [sccm]	$\Phi_{O_2}$ [sccm]	$U_t$ [V]	$p_r$ [Pa]
600	300	2	8	-1025	1,4



Obr. 4.4 Depoziční systém: 1) ocelová komora, 2) katoda, 3) magnetron 4) stolek, 5) vyhřívaný stolek, 6) přívody pracovních plynů, 7) vstup pro chlazení dusíkem, 8) připojení ke škrtkové cloně a čerpacímu systému, 9) otočná clona, 10) připojení k čerpacímu systému.



Obrázek 4.1: Schéma depoziční aparatury.

## 4.2 Analýza tenkých vrstev

### 4.2.1 Měření tloušťky

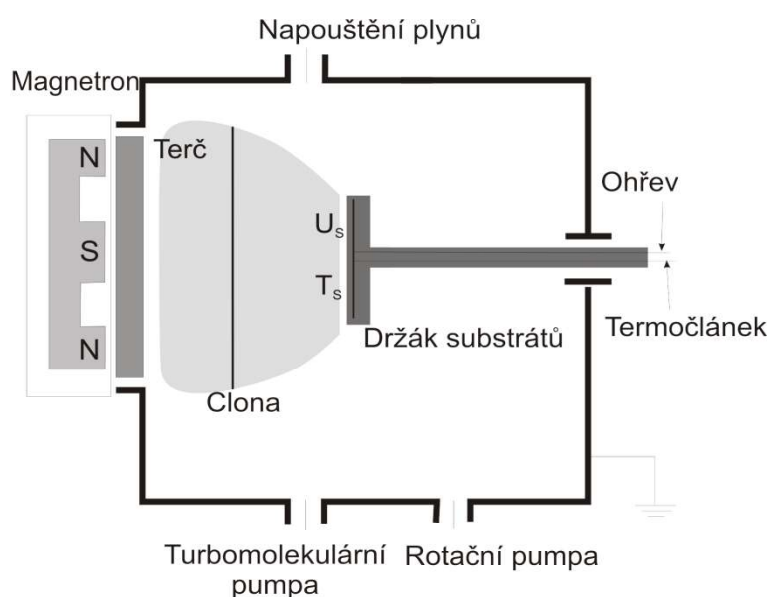
Tloušťka tenkých vrstev se stanovuje pomocí počítačem řízeného elektromechanického profilometru Dektak 8 od firmy Veeco Metrology Group s vertikálním rozlišením od 1 Å. Měřícím prvkem je diamantový hrot, který se pohybuje určitou přitlačnou silou po povrchu vzorku a na základě vertikální polohy hrotu převodní jednotka vytváří odpovídající signál. Profilometr je umístěný na „plovoucím“ stolku, který minimalizuje vliv vibrací a otřesů podlahy.

Rozsah profilometru Dektak 8 je 6,5  $\mu\text{m}$  - 1 mm a vertikální rozlišení je 0,1 nm. [36]

## 4. Metody zpracování

### 4.1. Příprava vrstev Hf-B-Si-C-(N)

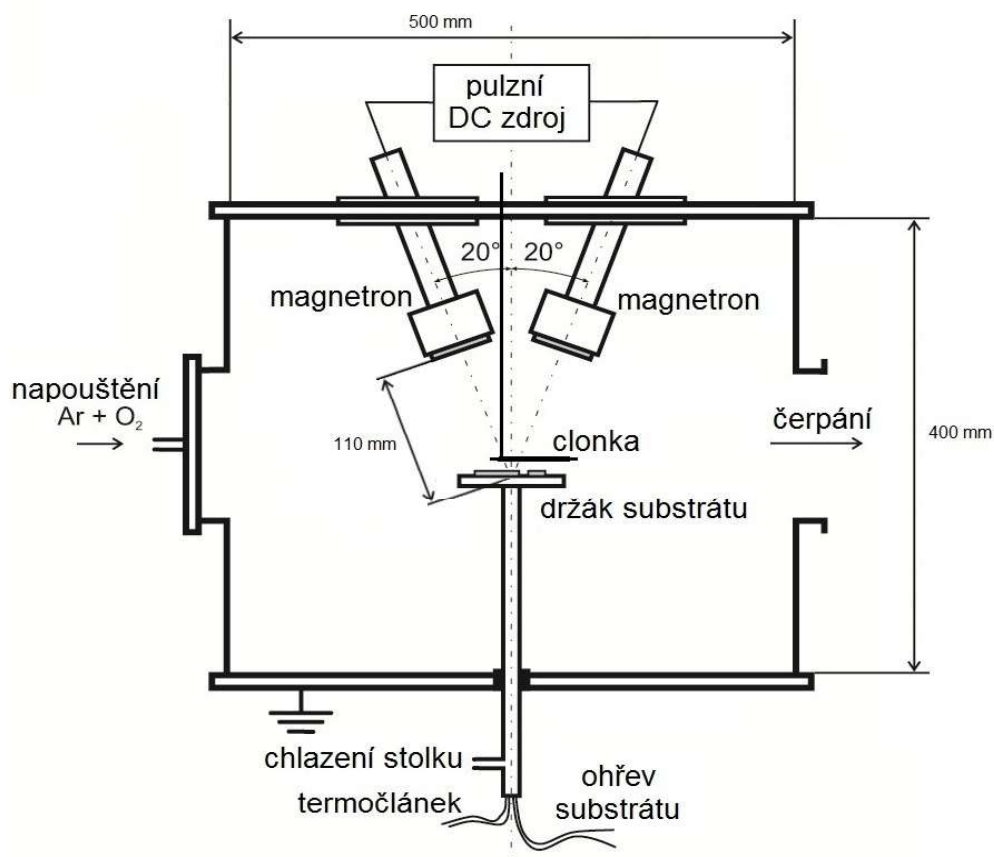
Vrstvy byly realizovány použitím depozičního systému Balzers BAS 450 PM, jenž je umístěn v laboratoři UF 006 katedry fyziky Západočeské univerzity v Plzni. Schématické znázornění systému je patrné z obrázku 18. Je zde použito metody pulzního reaktivního magnetronového naprašování. Zmíněné termíny jsou v této kapitole objasněny. Zároveň jsou zde přehledně uvedeny depoziční podmínky a popsány použité metody, jimiž byly deponované vrstvy analyzovány.



Obr. 18: Schéma depoziční komory pro přípravu tenkých vrstev Hf-B-Si-C-(N).

#### 4.1.1. Magnetronové naprašování

Magnetronové naprašování spočívá v rozprašování pevného terče, který je umístěn na katodě, ionty pracovního plynu. Z anody, kde se nachází substrát, vystupuje směrem ke katodě vektor elektrické intenzity. Na katodě je vytvořeno magnetické pole. Z tohoto pole vychází vektor magnetické indukce nejprve rovnoběžně s vektorem el. intenzity, ale vlivem uzavřeného magnetického pole se následně obrací zpět k terči. Elektrony emitované z katody jsou tak nejprve urychlovány směrem k anodě, díky magnetickému poli jsou však taženy zpět na terč, což prudce zvýší koncentraci elektronů v jeho okolí. Tím dochází k intenzivnější srážkové ionizaci a následnému efektivnějšímu rozprašování terčového materiálu. Vlivem



Obr. 4.2: Schématický náčrt deponiční komory s duálním magnetronem.[15]

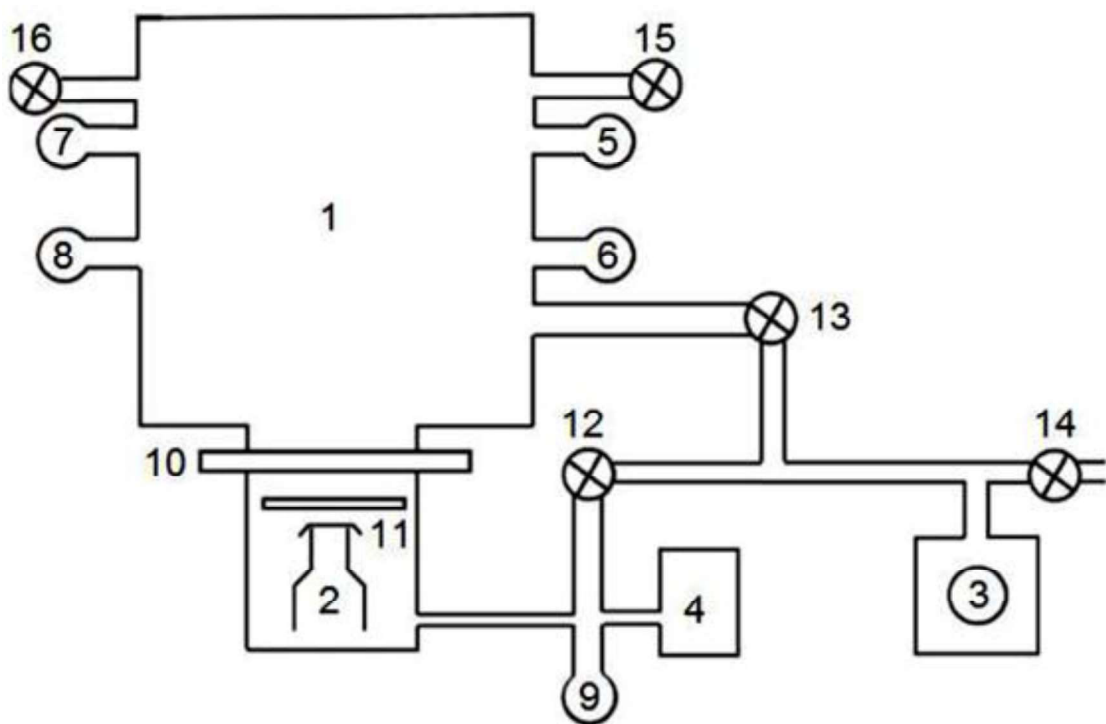
Během depozice tenkých vrstev metodou magnetronového naprašování se obvyklá hodnota tlaku v deponiční komoře pohybuje v rozmezí  $10^{-1} \div 1$  Pa. Tohoto tlaku se dosahuje využitím dvoustupňového čerpacího systému.

K získání hrubého vakua se využívá rotační olejová vývěva LAVAT VRO 25-23 s čerpací rychlostí  $25 \text{ m}^3 \times \text{h}^{-1}$  a mezním tlakem  $\approx 5 \times 10^{-1}$  Pa.

Druhý stupeň čerpacího systému tvoří turbomolekulární vývěva Pfeiffer Vacuum THM, která má čerpací rychlost  $510 \text{ l/s}$ . [15]

Pro získání informace o tlaku v deponiční komoře jsou do systému zabudovány různé druhy měrek. Piraniho měrky Pfeiffer Vacuum Compact Pirani Gauge TPR 280 slouží k měření tlaku v rozmezí  $5 \times 10^{-2} \div 10^5$  Pa.

K měření nižších tlaků se využívá Penningova měrka Pfeiffer IKR 251, její měřicí rozsah odpovídá  $2 \times 10^{-7} \div 1$  Pa.



**Obr. 4.1** Čerpací systém; 1 – vakuová komora, 2 – difuzní vývěva, 3 – rotační vývěva, 4 – zásobník vakua, 5 – kapacitní tlaková měrka BARATRON, 6, 8, 9 – Piraniho měrky, 7 – Penningova měrka, 10 – deskový ventil, 11 – clona pro regulaci rychlosti čerpání, 12, 13 – ventily, 14, 15 – zavzdušňovací ventily, 16 – napouštění plynů, [40]

Vrstvy byly připravovány ve válcové vakuové komoře (2) o průměru 507 mm a délce 520 mm, která je vyrobena z nerezové oceli. Komoře je napojena na čerpací systém. K efektivnější desorpci nežádoucích zbytkových plynů ze stěn komory před depozicí se používá odporový drát, jenž je v těsném kontaktu s pláštěm komory, který rovněž obsahuje vodní chladič systém. Celkový tlak v komoře byl během depozice měřen absolutní kapacitní tlakovou měrkou BARATRON (5) s rozsahem 0 – 5 Pa, která pracuje na principu výchylky membrány. Mimo depozici byl tlak měřen Piraniho (6,8,9) a Penningovou (7) měrkou. Penningova měrka je výbojový vakuoměr, který měří v rozsahu  $1 - 10^{-6}$  Pa. Piraniho měrka je tepelný vakuoměr, měřící v rozsahu  $10^5 - 10^{-2}$  Pa pro známý plyn s chybou několika procent. Dále je součástí komory vertikálně uložený přímo vodou chlazený magnetron a držák substrátu. Magnetron je zahloben do vnitřku komory, aby nedocházelo k nežádoucím jevům, např. odrazu částic od stěn komory.

Před vlastní depozicí, kdy je komora vyčerpána na základní tlak, se začne do komory napouštět pracovní plyn argon s konstantním průtokem. Správným nastavením

## 4 Experimentální zařízení

### 4.1 Depoziční systém

Veškeré vzorky potřebné pro úspěšné vypracování této bakalářské práce byly připraveny na KFY ZČU pomocí ATC 2200-V Sputter System společnosti AJA International, Inc. (viz Obr. 4.1). Tento systém byl speciálně upraven pro potřeby vysokovýkonového pulzního a netronového naprašování a skládá se ze tří hlavních částí – vysokovýkonový zdroj napětí, vakuová aparatura a řídicí systém.



**Obr. 4.1:** ATC 2200-V Sputter System společnosti AJA International, Inc.

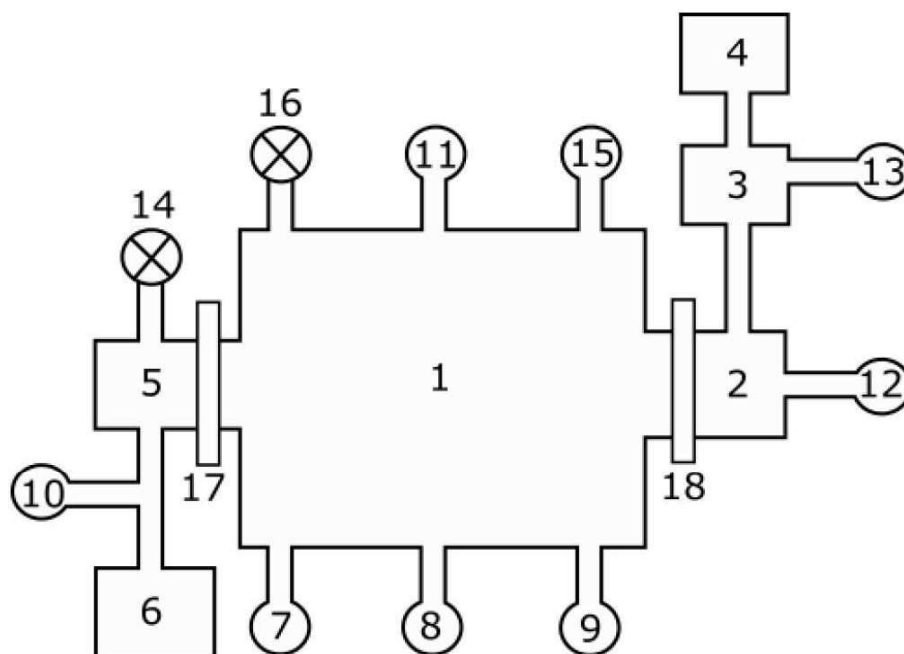
#### 4.1.1 Vysokovýkonový zdroj

Použitý zdroj napětí byl vysokovýkonový zdroj TruPlasma Highpulse 4002 společnosti Güntter Elektronik navržený především pro generování plazmatu velice vysoké hustoty. Tento zdroj se skládá ze stejnosměrné nabíjecí jednotky, vysokovýkonového pulzního generátoru (jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 4.1) a nízkovýkonového adaptéru. Generátor je také vybaven detektorem mikrooblouků a ochranným polovodičovým přepínačem pro případ překročení limitní hodnoty výstupního proudu v pulzu. Pro lepší řízení jednotlivých pulzních parametrů byl zdroj pomocí analogových a digitálních vstupů propojen s kontrolní jednotkou.

**Tab. 4.1:** Parametry vysokovýkonového pulzního generátoru

Výstupní napětí	2 000 V
Výstupní proud	1 000 A
Maximální pulzní výkon	10 000 W
Frekvence	2 – 500 Hz
Délka pulzu	1 – 200 $\mu$ s
Kapacita	125 $\mu$ F

#### 4.1.2 Vakuová aparatura



**Obr. 4.2:** Schéma vakuové aparatury

(1) depoziční komora, (2) „load-lock“, (3) turbomolekulární vývěva HiPace 80, (4) membránová vývěva, (5) turbomolekulární vývěva HiPace 1200, (6) Rootsova vývěva, (7) kapacitní manometr BARATRON, (8) Piraniho měrka, (9) Bayard-Alpertův ionizační manometr, (10) a (12) měrky QuadMag 974, (11) vstup pracovního plynu, (13) vstup dusíku jako ochranné atmosféry „load-locku“, (15) vstup reaktivního plynu, (14) a (16) zavzdušňovací ventily, (17) a (18) deskové ventily

lavní částí vakuové aparatury (znázorněné na Obr. 4.2) je ísto, kde probíhá sa otná depozice tenkých vrstev, tedy depoziční ko ora (1). Ta je vyčerpána na základní tlak ( enší než  $10^{-4}$  Pa) po ocí 2 sériově zapojených vývěv – suché echanické Rootsovy vývěvy Adixen ACP 28 (6) společnosti Alcatel Vacuu Technolo y a turbo olekulární vývěvy iPace 1200 (5) společnosti Pfeiffer Vacuu . Rootsova vývěva vyčerpá ko oru