

POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Plazma, określana jako czwarty stan materii, jest to w najprostszym ujęciu silnie zjonizowany ośrodek, wykazujący zachowania kolektywne. Zachowania te mają związek z długozasięgowymi oddziaływaniami elektromagnetycznymi pomiędzy naładowanymi cząstkami. Podczas gdy plazma jest podstawowym stanem materii we wszechświecie, na Ziemi występuje jedynie w wyładowaniach atmosferycznych oraz w postaci zorzy polarnej. Może być oczywiście wytwarzana sztucznie, w warunkach laboratoryjnych np. dla celów syntezy termojądrowej, badań dotyczących generacji jonizującego promieniowania elektromagnetycznego lub korpuskularnego czy też zagadnień z zakresu astrofizyki czy astrochemii laboratoryjnej. Plazma jest też wykorzystywana w różnych procesach przemysłowych przy produkcji układów mikroelektronicznych, mikromechanicznych, wytwarzaniu cienkich warstw czy modyfikacji powierzchni. Wytwarza się ją w generatorach plazmowych bazujących głównie na różnego typu wyładowaniach elektrycznych. Jest to tzw. plazma niskotemperaturowa, czyli o temperaturze na poziomie kilku do kilkudziesięciu tysięcy kelwinów. Może być ona wytwarzana w gazie pod niskim ciśnieniem, w specjalnych komorach lub pod ciśnieniem atmosferycznym. W wielu przypadkach, zwłaszcza w generatorach działających pod ciśnieniem atmosferycznym, jest to plazma nierównowagowa, gdzie stopień jonizacji jest bardzo mały. Gęstość elektronów uwolnionych w wyniku jonizacji gazu, w którym wytwarzana jest plazma, stanowi niewielki ułamek gęstości atomów lub cząsteczek tegoż gazu. W skrajnych przypadkach może być ona setki tysięcy razy mniejsza.

Plazma niskotemperaturowa może być jednak wytwarzana również w zupełnie inny sposób, mianowicie w wyniku fotojonizacji gazów promieniowaniem elektromagnetycznym o energii fotonów wielokrotnie przewyższającej energię wiązań elektronów znajdujących się na powłokach zewnętrznych a nawet wewnętrznych atomów. Promieniowanie takie jest silnie pochłaniane w dowolnym ośrodku, powodując jego jonizację. Jeśli strumień fotonów ma odpowiednio dużą intensywność, to możliwe jest wytworzenie plazmy niskotemperaturowej, w której znaczna część a nawet większość atomów zostanie zjonizowana. Jasne jest, że efektywność oddziaływania takiej plazmy z powierzchnią, która miałaby być trawiona czy w określony sposób modyfikowana, byłaby znacznie większa niż w przypadku plazmy, której podstawowym składnikiem są atomy czy cząsteczki niezjonizowane. Autor niniejszego projektu proponuje wykonanie szeregu badań dotyczących wytwarzania takiej plazmy i zademonstrowania jej użyteczności do obróbki powierzchni materiałów oraz analizy spektrochemicznej substancji ciekłych. W charakterze źródła promieniowania jonizującego z zakresu tzw. skrajnego nadfioletu oraz miękkiego promieniowania rentgenowskiego zastosowana zostanie plazma laserowa o temperaturze rzędu kilkuset tysięcy kelwinów. Plazma taka może być wytwarzana zarówno w układach próżniowych, gdzie promieniowanie jonizujące propaguje się na duże odległości i może być efektywnie ogniskowane, jak również pod ciśnieniem atmosferycznym, gdzie możliwa jest propagacja jedynie w gazach lekkich, takich jak hel i wodór i to jedynie na dystansie rzędu kilku - kilkunastu milimetrów. W pierwszym przypadku ośrodek gazowy do wytwarzania plazmy będzie wstrzykiwany w obszar ogniskowania promieniowania, w drugim przypadku będzie formowany w niewielkiej odległości od plazmy laserowej. W obu przypadkach warunki naświetlania zostaną dobrane tak, aby liczba fotonów zaabsorbowanych w określonej objętości, była porównywalna do liczby znajdujących się tam atomów. Daje to możliwość uzyskania bardzo dużej gęstości elektronowej, nawet o kilka rzędów wielkości przewyższającej gęstość uzyskiwaną w standardowych generatorach plazmowych.

Diagnostyka plazmy będzie oparta głównie o pomiary spektralne w szerokim zakresie widmowym od skrajnego nadfioletu do długofalowego skraju promieniowania widzialnego. Temperatura elektronowa plazmy zostanie wyznaczona na podstawie względnych intensywności wybranych linii emisyjnych oraz w oparciu o modelowanie numeryczne promieniowania plazmy. Gęstość elektronowa natomiast wyznaczona zostanie na podstawie pomiaru poszerzenia Starka wybranych linii widmowych, np. serii Balmera stosując domieszkę wodoru.

Opracowane generatory plazmy fotojonizacyjnej zostaną zastosowane do eksperymentów demonstracyjnych dotyczących obróbki powierzchni wybranych materiałów. W wyniku ekspozycji na plazmę niskotemperaturową oczekiwane są zmiany morfologii powierzchni oraz zmiany struktury chemicznej w warstwie wierzchniej. Zmiany morfologii będą badane metodami mikroskopowymi natomiast zmiany chemiczne metodami spektralnymi. Ponieważ oczekiwane są zmiany jedynie w cienkiej warstwie wierzchniej, najlepszą metodą pomiarową będzie zapewne spektroskopia fotoelektronów rentgenowskich.

Eksperymenty demonstracyjne dotyczące analizy spektrochemicznej substancji ciekłych planowane są głównie z zastosowaniem generatora plazmy działającego pod ciśnieniem atmosferycznym z uwagi na trudności z wytwarzaniem aerozoli w próżni. Możliwe to będzie jednak dla substancji gazowych. Odpowiednie pomiary spektralne będą prowadzone głównie w zakresie widzialnym i nadfiolecie.