

W 2007 r. w ramach działalności statutowej realizowano 4 tematy badawcze obejmujących wytwarzanie, badanie właściwości i praktyczne zastosowania ośrodków zjonizowanych i promieniowania laserowego do celów technicznych i ekologicznych. Poza działalnością statutową realizowano inne projekty badawcze dotyczące tej samej tematyki, finansowane przez MNiSW. Część badań realizowana była w ramach współpracy międzynarodowej.

W trzech Zakładach (Z1-Z3) realizowano następujące tematy statutowe: Z-1/T1 Generacja i modelowanie plazmy w wyładowaniu mikrofalowym, (Kierownik: dr inż. M. Jasiński), Z-2/T1 Badania efektów fotofizycznych, wymiany energii oraz struktury materiałów nieniszczącymi metodami spektroskopowymi, (Kierownik: prof. G. Śliwiński), Z-3/T1 Zastosowania techniki laserowej, (Kierownik: prof. J. Mizeraczyk). Z-3/T2 Zastosowanie techniki plazmowej do oczyszczania gazów odłotowych, (Kierownik: prof. J. Mizeraczyk).

### **O3/Z1/T1. Generacja i modelowanie plazmy w wyładowaniu mikrofalowym**

Celem prac, prowadzonych od lat w ramach sprawozdanego tematu, są badania i doskonalenie mikrofalowych źródeł plazmy oraz diagnostyka i modelowanie plazmy. Wszystkie prace prowadzone w 2007 roku dotyczyły generatorów plazmy na częstotliwości 2,45 GHz i wyładowań pod ciśnieniem

*In 2007 in the frame of statute activity realised have been 4 research topics encompassing production, investigation of properties and practical application of ionized media and laser radiation for technical and ecological purposes. Apart from statute activity realized were other research projects regarding same topics, financed by the Ministry for Science and Higher Education (MNiSzW). A part of that research has been completed in the frame of international cooperation.*

*In three Departments (Z1-Z3) realised were the following statute topics: Z-1/T1 Generation and modeling of plasma in microwave discharge, (headed by Dr M. Jasiński, MEng) Z-2/T1 Investigations of photophysical effects of energy exchange and material structure using non-invasive spectroscopic methods, (headed by Prof. G. Śliwiński), Z-3/T1 Applications of laser techniques, headed by Prof. J. Mizeraczyk, Z-3/T2 Application of plasma technique for purification of flue gases, headed by Prof. J. Mizeraczyk.*

### **O3/Z1/T1. Generation and modeling of plasma in microwave discharge**

*The objective of works carried out for some time in the frame of reported topic are investigations and refinement of microwave plasma sources and diagnostics and modeling of plasma. All activities carried out in 2007 regarded plasma generators of frequency 2,45 GHz*

atmosferycznym.

W roku 2007 opracowane zostały dwa nowego typu urządzenia do generacji wyładowań mikrofalowych pod ciśnieniem atmosferycznym:

- dyszowe mikrofalowe urządzenie do plazmowej obróbki gazów o dużych natężeniach przepływu;
- mikrofalowe urządzenie do plazmowej obróbki gazów o dużych natężeniach przepływu niewyposażone w dyszę.

W oparciu o powyższe mikrofalowe urządzenia plazmowe powstało nowe stanowisko badawcze do produkcji wodoru w procesie reformingu węglowodorów. Oba urządzenia mają konstrukcję falowodową i służą do plazmowej obróbki gazów o dużych natężeniach przepływu, spełniają więc wymagania przemysłu. Pierwsze z urządzeń wyposażone jest w stożkową metalową dyszę, przez którą wypływa gaz roboczy poddawany plazmowej obróbce. Zaobserwowano szybką erozję metalowej dyszy spowodowaną jej kontaktem z plazmą. Ważną zaletą tego ostatniego urządzenia plazmowego jest brak dyszy. Plazma nie ma żadnego kontaktu ze ściankami urządzenia. Badania nad tymi urządzeniami są wspierane przez grant badawczy MNiSW pt. „Badania i optymalizacja mikrofalowych źródeł plazmy o dużym natężeniu przepływu gazów do zastosowań przemysłowych”. Opracowane urządzenia zapewniają efektywny transfer mocy mikrofal (od 0,6 kW do 6 kW) do obszaru wyładowania w szerokim zakresie natężeń przepływu

*and discharges at atmospheric pressure.*

*In 2007 developed have been two devices of a new type for generation of microwave discharges at atmospheric pressure:*

- *a nozzle based microwave device for plasma treatment of gases with large flow rates;*
- *a microwave device for plasma treatment of gases with significant flow rates without a nozzle.*

*Based on the above mentioned microwave plasma device developed has been a new research rig for production of hydrogen during the process of hydrocarbons reforming.*

*Both devices feature a waveguide construction and are designed for plasma gas treatment with significant flow rates and hence satisfy the requirements of industry. The first of devices is equipped with a conical metal nozzle through which a working gas flows which is subsequently exposed to plasma treatment, Observed has been a fast erosion of the metal nozzle due to its contact with plasma. An important advantage of the latter device is the lack of nozzle. In such case plasma has no contact with the wall of the device. Investigations on these devices are supported by the MNiSW grant titled "Investigations and optimisation of microwave plasma sources with large flow gas flow rates for industrial applications". Developed devices ensure the effective transfer of microwave power (from 0,6 kW to 6 kW) to the discharge region in a wide range of gas flow*

gazu (od 30 l/min do kilkuset l/min). Część prac wykonywanych w ramach tego tematu dotyczyła zastosowań wyładowań mikrofalowych w ochronie środowiska i energetyce. Prace te, skoordynowane przez zespół Prof. Mizeraczyka, prowadzone były w przeważającej części jako zadania tematu O3/Z3/T2 i zostały szczegółowo omówione w odpowiedniej części sprawozdania. W okresie sprawozdawczym nasz udział w realizacji tej tematyki był następujący:

- Uzyskano bardzo dobre wyniki dotyczące zastosowania wyładowania mikrofalowego do produkcji wodoru w procesie reformingu metanu.
- Uruchomione zostały badania nad destrukcją Freonu CFC-11 za pomocą urządzenia do generacji wyładowania mikrofalowego o dużym natężeniu przepływu.

Uzyskane przez nasz zespół parametry energetyczne procesu plazmowej produkcji wodoru są obecnie najlepsze na świecie.

Kontynuowano spektroskopowe badania koncentracji elektronów w plazmie. Metoda opiera się na wyznaczeniu poszerzenia Starka linii atomowej HSS emitowanej przez plazmę, bowiem zależy ono ściśle od koncentracji elektronów w badanej plazmie. Koncentrację elektronów wyznaczono w oparciu o dwie teorie: Gig-Card i GKS. Metoda wykorzystana została do pomiaru koncentracji elektronów w wyładowaniu mikrofalowym podtrzymywanym falą powierzchniową.

*rates (from 30 l/min to several hundreds l/min).*

*Part of works carried out in the frame of that topic regarded applications of microwave discharges in environmental protection and power engineering. These works, coordinated by the group led by Prof. Mizeraczyk, were carried out in a greater share as a problem in a topic O3/Z3/T2 and have been discussed in detail in a relevant part of the report. In the reporting period our share in realization of that scope of problems was the following:*

- *Obtained have been very good results regarding the application of microwave discharge for production of hydrogen during the process of methane reforming.*
- *Commissioned have been investigations on the destruction of Freon CFC-11 by means of a device for generation of microwave discharge with a large flow rate.*

*Obtained by our group energy parameters of plasma process of hydrogen production are at the moment best in the world.*

*Continued have been spectroscopic investigations of electron concentration in plasma. The method is based on determination of the Stark's extension of the atomic line of HSS emitted by plasma, it depends precisely on electron concentration in investigated plasma. The electron concentration has been determined basing on two theories, namely Gig-Card and GKS. The method has been used for measure-*

Nowością w skali światowej było wyznaczenie koncentracji elektronów w obszarze plazmy dotąd pomijanym przez badaczy, tj. wewnątrz falowodu (ang. wave launching region).

Prace z zakresu mikrowyładowań mikrofalowych pod ciśnieniem atmosferycznym obejmowały optymalizację i prowadzenie dalszych badań nad współosiowymi generatorami mikroplazmy. Realizowano wstępne badania dotyczące obróbki powierzchni z wykorzystaniem mikroplazmy (oczyszczanie i aktywacja miedzianych płytek drukowanych).

Ponadto, w ramach projektu badawczego MNiSW pt. „Badania metod generacji i właściwości mikroplazmy mikrofalowej pod ciśnieniem atmosferycznym”, wykonywane były dalsze prace związane z polepszeniem właściwości istniejących (zrealizowanych na bazie wcześniejszych projektów) współosiowych generatorów mikroplazmy.

Prowadzono badania nad optymalizacją mikrofalowych generatorów plazmy z głowicą falowodową (surfaguide). Zaproponowano udoskonalony elektryczny schemat zastępczy takiego generatora plazmy. Wykorzystując ten schemat opracowano metodę doboru wymiarów generatora plazmy, tak aby zoptymalizować przekazywanie mocy mikrofal do plazmy. Wyniki obliczeń porównano z wynikami eksperymentalnymi uzyskując bardzo dobrą zgodność.

W ramach prac nad doskonaleniem mikrofalowych źródeł plazmy opraco-

*ments of electron concentration in microwave discharge sustained by the surface wave. A novelty, of the world's scale, was determination of electron concentration in the plasma region which has been up till now neglected by researchers, i.e. inside the wave launching region.*

*The works from the area of microwave microdischarges under atmospheric pressure encompassed optimization and continuation of subsequent investigations on the coaxial microplasma generators. Realised have been preliminary investigations regarding surface treatment with the use of microplasma (purification and activation of copper printed circuits).*

*Additionally in the frame of research project funded by MNiSW grant titled “Investigation of generation methods and microwave microplasma properties under atmospheric pressure” carried out were further activities related to improvement of properties of existing (realized on the basis of earlier projects) coaxial microplasma generators.*

*Carried out have been investigations on optimization of microwave plasma generators featuring the surfaguide. Proposed has been an improved equivalent electrical scheme of such plasma generator in order to optimize transfer of microwave power to plasma. The results of calculations have been compared with experimental results obtaining a very good consistency.*

*In the frame of works on improvement of microwave plasma sources developed has been a microwave power*

wany został dzielnik mocy mikrofal, który umożliwia zasilanie przez falowód prostokątny dowolnej liczby źródeł plazmy z jednego generatora mikrofal. Urządzenie to umożliwia równomierny podział mocy między poszczególne źródła, zapewniając jednocześnie ich wzajemną izolację, co oznacza, że praca jednego źródła plazmy nie wpływa na pracę pozostałych. Wykorzystując metodę elektrycznych obwodów zastępczych wyprowadzono analityczne wyrażenie, umożliwiające wyznaczenie admitancji wejściowej takiego podzielnika mocy.

Opracowano i przebadano eksperymentalnie nowy rodzaj liniowego aplikatora pola, który umożliwia wytwarzanie długich jednorodnych osiowo kolumn plazmy. Ta nowatorska konstrukcja wykorzystuje powietrzną linię mikropaskową, wewnątrz której umieszczone są rury wyładowcze, w których generowana jest plazma. Przebadane zostały elektrodynamiczne właściwości takiego generatora plazmy (rozkłady pola elektrycznego, impedancja charakterystyczna) zarówno dla przypadku bez plazmy, jak i z plazmą wewnątrz.

W 2007 r. kontynuowane były prace nad modelowaniem wyładowania mikrofalowego z falą powierzchniową w gazach pod ciśnieniem atmosferycznym. Opracowany w poprzednich latach model wyładowania został wykorzystany do zbadania wpływu warunków wyładowania na właściwości fali powierzchniowej i parametry plazmy wytwarzanej w wyładowaniu. Zbadano wpływ wymiarów rury wyła-

*splitter which enables supply by means of the square waveguide of arbitrary plasma sources from one microwave generator. Such device permits a uniform power distribution between particular sources ensuring at the same time their isolation, which means that operation of one plasma source does not influence operation of other ones. Utilising the method of electric equivalent circuits derived analytically has been the expression for determination of input admittance of such power splitter.*

*Developed and investigated experimentally has been a new kind of linear field applicator, which enables production of long axially homogeneous plasma columns. Such a novel structure utilizes a the microband line of air inside of which located are discharge pipes where plasma is generated. Investigated have been electrodynamic properties of such plasma generator (distributions of electric field, characteristic impedance) both for the case without plasma as well as plasma inside.*

*In 2007 continued have been works on modeling of microwave discharge with a surface wave in gases under atmospheric pressure. Developed in earlier years model of discharge has been used for investigation of the influence of discharge conditions on the properties of surface wave and plasma parameters produced during the discharge. Investigated has been the influence of discharge tube dimensions and its material on distributions of electric field and damping characteristics as well as propagation characteristics of waves. Additionally*

dowczej i materiału, z jakiego wykonana jest rura, na rozkłady pola elektrycznego oraz na charakterystyki tłumienia i rystyki propagacyjne fali. Ponadto zbadano wpływ temperatury na ścianie rury wyładowczej na długość kolumny plazmy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że zwiększenie grubości rury wyładowczej prowadzi do zmiany charakterystyk tłumienia fali powierzchniowej, a w efekcie do skrócenia kolumny plazmy. Wyniki obliczeń zostały porównane z wynikami eksperymentalnymi. Uzyskano dobrą zgodność wyników.

Wykorzystując założenie o lokalnej osiowej jednorodności wyładowania wyprowadzono wzory analityczne, które umożliwiają wyznaczenie osiowych rozkładów liniowej gęstości mocy absorbowanej w wyładowaniu oraz strumienia mocy niesionej przez falę powierzchniową wzdłuż kolumny plazmy. Ponadto wyznaczono analityczne zależności między długością kolumny plazmy a mocą absorbowaną w kolumnie plazmy.

W roku 2007 prowadzono również badania teoretyczne nad wyznaczaniem rozkładu pola elektromagnetycznego wewnątrz osiowosymetrycznych mikrofalowych źródeł plazmy. Zmodyfikowano opracowaną w latach wcześniejszych metodę wyznaczania takich rozkładów, wykorzystującą komercyjny program FlexPDE, przeznaczony do obliczania układów równań różniczkowych cząstkowych. Opracowana obecnie metoda umożliwia wyznaczanie rozkładów pola elektromagnetycznego

*investigated has been the influence of temperature on the discharge tube wall on the length of plasma column. It results from executed calculations that the increase of the thickness of discharge tube leads to the change of damping characteristics of the wave damping and in effect to shortening of plasma column. The results of calculations have been compared with the experimental results. A good consistency has been obtained.*

*Utilising the assumption about local axial homogeneity of the discharge analytical formulas have been derived which enable determination of axial distributions of linear density of absorbed power in the discharge and a rate of power carried by the surface wave along the plasma column. Additionally determined have been analytical relations between the length of plasma column and power absorbed in plasma column.*

*In 2007 carried out also were theoretical investigations on determination of electromagnetic field distribution inside axially symmetric microwave plasma sources. Modified has been a method, developed earlier, for determination of such distributions which uses the commercial software FlexPDE for calculation of partial differential equations. Developed now method enables determination of electromagnetic field distributions also in cases when inside plasma source the non-homogeneous dielectrics are present. Simulation of electromagnetic fields have been accomplished with respect to the shape and dimensions of microwave plasma*

również w przypadkach, gdy wewnątrz źródła plazmy znajdują się niejednorodne dielektryki. Przeprowadzono symulacje rozkładów pola elektromagnetycznego w zależności od kształtu i wymiarów mikrofalowych źródeł plazmy. Opracowana metoda i wyniki obliczeń posłużą do optymalizacji mikrofalowych źródeł plazmy.

### **O3/Z2/T1. Badania efektów fotofizycznych, wymiany energii oraz struktury materiałów nieniszczącymi metodami spektroskopowymi**

W ramach powyższego tematu w roku 2007 zakończono projekt badawczy poświęcony układom optyki adaptacyjnej dla technologicznych zastosowań wiązek laserowych dużej mocy. Rezultatem jest opracowanie metody kontroli frontu falowego wiązki promieniowania. W układzie doświadczalnym zastosowano odkształcalne zwierciadło bimorficzne o krzywiznie regulowanej przesuwnikami piezoceramicznymi. Jako źródło sygnału sterującego wykorzystano oryginalnie opracowany, wielokanałowy pirodetektor, z równoczesnym podglądem rozkładu promieniowania przy użyciu płyty termoczułej. Wykazano doświadczalnie, że detektor umożliwia identyfikację modów niższych rzędów w rozkładzie natężenia promieniowania wiązki, oraz zapewnia poprawną korekcję zarówno symetrycznych jak i niesymetrycznych zaburzeń tego rozkładu. Obecnie, układ optyki adaptacyjnej jest przygotowywany do użycia w doświadcz-

sources. Developed method and results of calculations will serve for optimization of microwave plasma sources.

### **O3/Z2/T1. Investigations of photophysical effects of energy exchange and material structure using non-invasive spectroscopic methods**

*In the frame of the above topic in 2007 completed has been a research project on the systems of adaptive optics for technological applications of laser beams of large power. A result of that is development of a method for control of the wave front of radiation beam. In the experimental system a deformable bimorphic mirror has been used with the curvature adjustable by the piezoceramic displacers. An originally developed multichannel pyrodetector has been used as a source of the control signal with a simultaneous view of radiation distribution using the thermo-sensitive slab. It has been experimentally shown that the detector enables identification of the modes of lower order in the distribution of the radiation beam spectrum and ensures correction of both symmetrical and non-symmetrical disturbances of such distribution. At present, the adaptive optics system undergoes rearrangements for use in laser experiments for preparation of protective coatings.*

*In 2007 carried out were also investigations of thin layers padded using lasers, which have been prepared for applications operating in extreme load capacities and aggressive environments.*

niach laserowej preparacji warstw ochronnych.

W roku 2007 wykonano również badania cienkich warstw napawanych laserem, preparowanych dla zastosowań w ekstremalnych warunkach obciążeń oraz w środowiskach agresywnych. Obliczenia numeryczne na modelu pól temperatur oraz naprężeń wykazały wyraźną zależność granicznych wartości naprężeń w czasie od temperatury początkowej podłoża, na którym preparowano warstwę stellitu SF6. Dla przypadku warstw bez wstępnego podgrzewania do temperatur w zakresie ok. 700°C, obliczane wartości naprężeń przekraczały wartości graniczne badanych materiałów i były potwierdzane mikropęknięciami obserwowanymi w przekrojach próbek. Preparowane struktury badano technikami mikroskopii optycznej oraz SEM, określono również skład chemiczny, mikrotwardość, odporność na korozję oraz na ścieranie. Wyniki analiz wykazały niekorzystny efekt penetracji napawanych warstw cząstkami Fe na głębokość rzędu 20-30  $\mu\text{m}$ , wskutek dyfuzji termicznej z obszaru przetopu, przy czym zawartość żelaza zależała krytycznie od temperatury w zakresie 630-700°C.

Podjęto badania nad materiałami typu MMC (Metal Matrix Composite) i przygotowano stoisko doświadczalne do laserowego dyspergowania proszków ceramicznych w osnowie metali miękkich. Prace wykonano w ramach tematu statutowego, przy współpracy z instytucjami VITO/Mol(Belgia) i CENIM-

*Numerical calculations for the model of temperature field and stresses showed a clear relation between limiting values of stresses in time with respect to initial temperature of the base on which the satellite SF6 layer was prepared. For the case of a layer without initial heating up to temperatures of about 700°C, calculated values of stresses felt beyond limiting values permitted for respective materials and were confirmed by microcracks observed in the sample cross-sections. Prepared structures have been investigated by means of optical microscopy techniques as well as SEM. Determined also has been a chemical composition, microhardness, corrosion and abrasion resistance. The results of analysis showed a disadvantageous effect of penetration of padded layers with Fe particles on the depth of the order of 20-30  $\mu\text{m}$ , due to thermal diffusion from the area of the depth of fusion and at the same time the iron content critically depended on temperature in the range 630-700°C.*

*Investigations commenced on materials of MMC type (Metal Matrix Composite) and a research rig for laser dispersion of ceramic powders in the heavy metal matrix. Works has been accomplished in cooperation with institutions such as VITO/Mol(Belgia) and CENIM-CSIC/Madrid(Spain). Additionally published have been the results of investigations of the surface structure as well as microscopic and spectroscopic analyses of chemical composition for the case of laser hollowing of AlN ceramics, obtained in the frame of bilateral co-*



CSIC/Madryt(Hiszpania). Ponadto, opublikowano wyniki badań struktury powierzchni, oraz mikroskopowe i spektroskopowe analizy składu chemicznego, dla przypadku laserowego drażenia ceramiki AlN, uzyskane w ramach współpracy bilateralnej polsko-bułgarskiej oraz polsko-hiszcpańskiej. Opublikowano również wyniki pomiarów parametrów plazmy (rozkłady temperatury oraz prędkości elektronów i jonów) podczas laserowej ablacji materiałów półprzewodnikowych ZnO, SiO, oraz SiO<sub>2</sub>, uzyskane przy użyciu techniki sondowej.

Efektom rosnącego zaangażowania IMP PAN w tematykę proekologicznej generacji energii były wyniki badań spektroskopowych produktów spalania ubogich mieszanek węglowodorowych. Dla przypadku propan+powietrze, w strefie frontu płomienia stwierdzono przeważający udział jonów C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> oraz HCO<sup>-</sup>, natomiast w miarę wzrostu odległości od tej strefy obserwowano rosnący udział jonów H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>, CO<sup>-3</sup> oraz HCO<sup>-</sup>. Efekt ten wyjaśniono w oparciu o kinetyczny model zjawisk oraz obliczenia numeryczne. Podjęto prace studialne oraz przygotowano stoisko doświadczalne do badań zagadnienia bezpłomieniowej, termicznej depolimeryzacji materii biologicznej, uzyskiwanej z utylizacji osadów ściekowych. W ramach nowego projektu badawczego zapoczątkowano badania systemów chłodzenia do mikroukładów generacji oraz wymiany energii.

Kontynuowano badania stosowane,

*cooperation between Poland and Bulgaria, and Poland and Spain. Published also have been the results of measurements of plasma parameters (distributions of temperature and electron and ion velocities) during laser ablation of semiconducting materials such as ZnO, SiO, and SiO<sub>2</sub>, obtained using a probe technique.*

*The effect of increasing involvement of IMP PAN into the area of proecological energy generation are the results of spectroscopic investigations of combustion products of low calorific value hydrocarbon mixtures. For the case of a mixture of propane and air in the region of the flame front there has been concluded a prevailing presence of C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> and HCO<sup>-</sup>, ions whereas with the increasing distance from that zone observed was an increasing share of H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>, CO<sup>-3</sup> and HCO<sup>-</sup> ions. That effect has been explained on the basis of a kinetic model of the phenomenon and numerical calculations. Studies have commenced as well as a research rig is under commissioning stage for investigations of flameless thermal depolymerization of the biological matter obtained from utilization of sewage deposits. In the frame of a new research project commenced have been investigations of cooling systems for control microsystems and energy exchange.*

*Continued have been applied investigations and results have been published on the effects and utilization of a phenomenon of laser ablation in a non-invasive analysis and conservation of historical objects as well as the*

oraz opublikowano wyniki dotyczące efektów i wykorzystania zjawiska laserowej ablacji, w nieniszczącej analizie i konserwacji obiektów historycznych, jak również udostępniono wyniki na stronie internetowej IMP PAN.

Dla potrzeb projektu badawczego realizowanego od połowy 2007 r. uruchomiono nowe stoisko spektrometru NIR pracującego w zakresie widmowym 1,2-2,5  $\mu\text{m}$ .

### **O3/Z3/T1. Zastosowania techniki laserowej**

Zadanie pod nazwą “zastosowanie techniki laserowej do wizualizacji przepływów” dotyczyło zastosowania impulsowych laserów CuBr i Nd:YAG do wizualizacji przepływów gazów oraz pomiaru pól prędkości przepływów zadania metodą PIV (Particle Image Velocimetry). W ramach tego kontynuowano wizualizacje i badania rozkładu pól prędkości w modelach elektrofiltru z uwzględnieniem trzech składowych prędkości (metoda 3D PIV). Dzięki uzyskanym wynikom zweryfikowano zeszłoroczny model numeryczny przepływu elektrohydrodynamicznego w modelu elektrofiltru typu drut-płyta. Określono również wpływ szeregu parametrów związanych z budową i pracą elektrofiltru na skuteczność odpylania. Uzyskane rezultaty są przydatne do oceny skuteczności pracy elektrofiltrów, w tym do oceny usuwania submikronowych cząstek pyłu. Jest to aktualny temat badawczy dziedzinie elektrofiltrów.

*results of that research have been disclosed on the IMP PAN website.*

*To meet the needs of the research project which started in the midyear of 2007 a new research rig has been commissioned of the NIR spectrometer operating in the spectral range of 1,2-2,5  $\mu\text{m}$ .*

### **O3/Z3/T1. Application of laser techniques**

*The problem titled "application of laser technique for flow visualisation" regarded application of CuBr and Nd:YAG impulse lasers for gas flow visualisation and measurements of velocity fields by means of the Particle Image Velocimetry method (PIV). In the frame of that topic continued have been visualizations and investigations of velocity field distributions in the models of electrofilters with account of three velocity components (a 3D PIV method). Due to the obtained results verified has been a numerical model developed last year of electrohydrodynamical flow in the model of electrofilter of the wire-slab type. Determined also was the influence of several parameters related to construction and operation of the electrofilter on the dedusting efficiency. Obtained results are useful for the assessment of the efficiency of operation of electrofilters including the assessment of removal of submicron particles of dust. That is an actual research topic in the area of electrofilters. Continued have been measurements of velocity fields in flows using the 2D PIV as well as flow visualisation in the corona*

Kontynuowano pomiary pól prędkości przepływu metodą 2D PIV oraz wizualizację przepływu w reaktorze wyładowania koronowego w wodzie. Wykonano też badania przepływu w pompie elektrohydrodynamicznej (EHD) wykonanej wg własnego oryginalnego projektu. Pompy EHD, ze względu na brak części mechanicznych, które ulegają zużyciu są szczególnie atrakcyjne dla układów mikroelektromechanicznych.

Badania dotyczące elektrofiltrów wykonano we współpracy z następującymi ośrodkami zagranicznymi: McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Hamilton, Ontario, Kanada, Prof. J.-S. Chang, University of Poitiers, Laboratory of Aerodynamics, Poitiers, Francja, Prof. G. Touchard.

Zadanie pod nazwą „Zastosowanie techniki laserowej do mikroobrobki materiałów” dotyczyło bezpośredniego naświetlania laserowego za pomocą lasera diodowego UV 375 nm w zastosowaniu do produkcji płytek drukowanych o wysokiej gęstości upakowania. W roku 2007 zajmowano się optymalizacją opracowanej wcześniej metody bezpośredniego naświetlania laserowego umożliwiającą wykonywanie ścieżek o minimalnej gęstości upakowania na poziomie 50/50 mm. W porównaniu z technologią konwencjonalną wykonywania tak gęsto upakowanych ścieżek na PCB technika laserowa wypada o wiele lepiej. Biorąc pod uwagę, iż fotopolimer stosowany w badaniach posiadał rozdzielczość na poziomie 50 mm otrzymane wyniki

*discharge reactor in water. Carried out were also investigations of flows in the electrohydrodynamical pump (EHD) manufactured according to the own original design. EHD pumps, due to the lack of mechanical parts, which are prone to wear, are particularly attractive for the microelectromechanical systems.*

*Investigations regarding electrofilters have been carried out in cooperation with the following foreign research centers: McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Hamilton, Ontario, Canada, Prof. J.-S. Chang, University of Poitiers, Laboratory of Aerodynamics, Poitiers, France, Prof. G. Touchard.*

*The topic titled "application of laser technique for material microprocessing" regarded direct laser irradiation by means of diode laser UV 375 nm in application to production of printed circuits with a high packing density. In 2007 activities were focused on optimization of developed earlier method of direct laser irradiation enabling production of circuits with minimal density of packing of the order of 50/50 mm. In comparison to the conventional technology of production of such densely packed circuits on the PCB's the laser technique seems to be much more attractive. Taking into account the fact that the photopolymer applied in investigations had a resolution at the level of 50 mm the obtained results suggest that in application of the laser photopolymer with resolution at the level of 25 mm and reduction of the laser spot to this*

sugerują, że przy zastosowaniu fotopolimeru laserowego o rozdzielczości na poziomie 25 mm i zmniejszeniu plamki laserowej do tych rozmiarów możliwe będzie wykonywanie ścieżek na najnowszej technologii super-fine-line 25/25 mm.

Badania były częściowo finansowane przez projekt badawczy MNiSW PB 1381/T11/2004/27: „Opracowanie metody bezpośredniego naświetlania laserowego do produkcji płytek drukowanych o wysokiej gęstości upakowania” (kierownik prof. J. Mizeraczyk).

### **O3/Z3/T2. Zastosowanie techniki plazmowej do oczyszczania gazów odlotowych**

Długofalowym celem badań prowadzonych w Zakładzie Zastosowań Techniki Plazmowej i Laserowej jest opracowanie nowych, efektywnych i proekologicznych plazmowych metod oczyszczania różnego rodzaju gazów odlotowych ze szkodliwych składników gazowych. W ostatnich latach zakres badań poszerzono o zastosowanie plazmy wyładowań elektrycznych do oczyszczania wody z zanieczyszczeń organicznych i mikrobiologicznych oraz produkcję wodoru poprzez plazmowy reforming węglowodorów.

Tematyka tegorocznych prac dotyczących zastosowania techniki plazmowej do oczyszczania gazów odlotowych obejmowała:

- zastosowanie techniki spektroskopii indukowanej laserem (Laser Induced Spectroscopy) do

*dimension it will be possible to produce circuits with the newest super-fine technology of 25/25 mm.*

*Investigations were partially financed by the MNiSW research project 1381/T11/2004/27: "Development of a method of direct laser irradiation for production of printed circuits with a high parking density" (headed by prof. J. Mizeraczyk).*

### **O3/Z3/T2. Application of plasma technique for purification of flue gases**

*A long term objective of investigations carried out at the Division for Applications of Plasma Techniques is development of new, effective and proecological plasma based methods for purification of different kinds of flue gases from harmful gaseous components. In recent years the scope of research has been widened to include the application of plasma electrical discharges for purification of water from organic and microbiological contaminants and production of hydrogen by plasma reforming of hydrocarbons.*

*The scope of present year activities related to application of plasma technique for purification of flue gases encompassed:*

- *Application of Laser Induced Spectroscopy for time and space measurements of distributions of active particles in non-thermal plasma used for decomposition of nitrogen oxides,*

pomiarów czasowo-przestrzennych rozkładów cząstek aktywnych w plazmie nietermicznej stosowanej do dekompozycji tlenków azotu,

- zastosowania plazmy wyładowania mikrofalowego typu "pochodnia" do destrukcji lotnych związków organicznych oraz reformingu metanu,
- diagnostykę plazmy mikrofalowej.

Badania eliminacji fenolu w wodzie za pomocą stałonapięciowego i impulsowego wyładowania koronowego w wodzie i do jej powierzchni pozwoliły określić wpływ takich właściwości wody jak przewodność i odczyn oraz zawartość jonów żelaza na skuteczność destrukcji fenolu. Uzyskane rezultaty wskazują, że wzrost przewodności i pH wody zmniejsza skuteczność eliminacji fenolu, natomiast obecność jonów żelaza zwiększa tę skuteczność. Zbadano również efektywność destrukcji bakterii *Escherichia coli* w wodzie rzecznej. Uzyskane wyniki są bardzo obiecujące i skłoniły nas rozpoczęcia prac nad domowym urządzeniem do oczyszczania wody.

Część badań dotyczących rozkładu fenolu w wodzie za pomocą wyładowań elektrycznych wykonano we współpracy z Institute of Fundamental Problems for High Technology, Ukrainian Academy of Sciences, Kijów, Ukraina, Prof. V. Naumov i Prof. V. Chernyak.

W ramach współpracy z Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia, Prof. T. Ohkubo, kontynuowane były prace nad zastosowaniem techniki spektros-

- *Application of plasma microwave discharge of the "torch" type in destruction of organic compounds and methane reforming,*

- *Diagnostics of microwave plasma.*

*Investigations into phenol elimination in water by means of the constant voltage and impulse corona discharge into water and into water surface enabled to determine the influence of such parameters of water as conductivity and reaction as well as the iron ion content on the efficiency of phenol destruction. Obtained results indicate that the increase of conductivity and pH of water reduce the efficiency of phenol elimination whereas the presence of iron ions increase that efficiency. Investigated also has been the effectiveness of destruction of the bacteria *Escherichia coli* in the river water. Obtained results are very promising and forced to commence a domestic device for water purification.*

*Part of investigations regarding the decomposition of phenol by means of electric discharges has been carried out in cooperation with the Institute of Fundamental Problems for High Technology, Ukrainian Academy of Sciences, Kiev, Ukraine, Prof. V. Naumov and Prof. V. Chernyak.*

*In the frame of cooperation with the Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan, Prof. T. Ohkubo, continued have been works on application of Laser Induced Spectroscopy in time and space measurements of active particles in non-equilibrium plasma used for decom-*

kopii indukowanej laserem (Laser Induced Spectroscopy) do pomiarów czasowo-przestrzennych cząstek aktywnych w plazmie nierównowagowej stosowanej do dekompozycji tlenków azotu. W r. 2007 głównym rezultatem badań dotyczących zastosowania techniki spektroskopowej indukowanej laserem był przestrzenny pomiar stopnia produkcji rodników OH powodujących eliminację NO w reaktorze wyładowania koronowego typu dysze-płyta, oraz zbadanie struktury wyładowania strimerowego generowanego za pomocą przełącznika półprzewodnikowego.

Badania reformingu metanu oraz destrukcji lotnych związków organicznych za pomocą impulsowego wyładowania mikrofalowego typu "pochodnia" były wykonywane wspólnie z zes. badawczym Zakładu Elektrodynamiki Gazów Zjonizowanych O3/Z-1, kierowanym przez dr. inż. M. Jasińskiego. Głównym ich wynikiem jest opracowanie metody produkcji wodoru poprzez reforming metanu za pomocą plazmy mikrofalowej pod ciśnieniem atmosferycznym przy dużych natężeniach przepływu gazu. Metoda będzie dalej rozwijana w ramach projektu badawczego MNiSW, którego kierownikiem jest dr inż. M. Jasiński, z ukierunkowaniem na optymalizację parametrów procesu reformingu. Innym ważnym rezultatem jest diagnostyka plazmy mikrofalowej oraz opracowanie mikrofalowego źródła mikropłazmy. Prace te wykonano wspólnie z Zakładem O3/Z-1.

Jerzy Mizeraczyk

*position of nitrogen oxides. In 2007 a main result of investigations regarding the application of the Laser Induced Spectroscopy technique was a spatial measurement of the rate of production of OH radicals rendering elimination of NO in the corona discharge reactor of the nozzle-slab type and knowledge on the structure of streamer discharge generated by means of a semiconductive switch.*

*Investigations into the methane reforming and destruction of volatile organic compounds by means of impulse torch type microwave discharge were carried out together with the research group from the Division for Electrodynamics of Ionised Gases O3/Z-1 headed by Dr M. Jasiński. The major outcome of that cooperation is development of a method of hydrogen production through methane reforming under atmospheric pressure at significant gas flow rates. The method will be further under development in the frame of the MNiSW research project, headed by Dr M. Jasiński, focused on optimization of parameters of the reforming process. Another important result is diagnostics of microwave plasma and development of a microwave microplasma source.*

*These activities are carried out together with the Division O3/Z-1.*

*Translated by Dariusz Mikielawicz*