

O3

Zagadnienia techniki plazmowej i laserowej

Problems of plasma and laser engineering

W 2001 r. w ramach działalności statutowej realizowano 6 tematów badawczych obejmujących wytwarzanie, badanie właściwości i praktyczne zastosowania ośrodków zjonizowanych i promieniowania laserowego do celów technicznych i ekologicznych. Poza działalnością statutową prowadzono badania w ramach innych projektów badawczych dotyczących tej samej tematyki, finansowanych przez NATO, KBN i FNP. Część badań wykonywano w ramach współpracy międzynarodowej.

Oto wykaz tematów w ramach których prowadzono badania statutowe:

O3/Z1/T1 Generacja i modelowanie plazmy w wyładowaniu mikrofalowym (kier. – prof. Z. Zakrzewski)

O3/Z2/T1 Charakterystyki aplikacyjne promieniowania lasera przepływowego CO₂, (kier. – doc. G. Śliwiński)

O3/Z2/T2 Badania doświadczalne wymiany energii oraz emisji w matrycach stałych, (kier. – doc. G. Śliwiński)

O3/Z3/T1 Zastosowanie techniki laserowej do wizualizacji przepływów i mikroobróbki materiałów, (kier. – prof. J. Mizeraczyk)

O3/Z3/T2 Zastosowanie techniki plazmowej do oczyszczania gazów odłotowych, (kier. – prof. J. Mizeraczyk)

O3/Z3/K1 Badanie pól prędkości spalin w modelach elektrofiltrów metodami laserowymi celem optymalizacji procesów odpylania, (kier. – prof. J. Mizeraczyk)

In the year 2001 in the Centre realised have been, in the frame of statute activity, 6 research topics encompassing production, investigations of properties and practical applications of ionised media and laser radiation for technical and ecological purposes. Apart from the statute activity realised have been other research projects dealing with the same problems, but financed by NATO, State Committee for Scientific Research (KBN) Foundation for Polish Science (FNP). Part of investigations has been conducted in the frame of international co-operation.

Listed below are topics where statute investigations have been carried out:

O3/Z1/T1 Generation and modelling of plasma in microwave discharges (led by Prof. Z. Zakrzewski)

O3/Z2/T1 Application characteristics of cw CO₂ laser radiation (led by Dr G. Śliwiński, PhD, DSc)

O3/Z2/T2 Experimental investigations of energy exchange and emissions in solid matrices, (led by Dr G. Śliwiński, PhD, DSc)

O3/Z3/T1 Application of laser techniques for flow visualisation and material microprocessing. (led by prof. J. Mizeraczyk)

O3/Z3/T2 Application of plasma technique for flue gases purification. (led by Prof. J. Mizeraczyk)

O3/Z3/K1 Investigations of flue gas velocity fields by means of laser techniques in the models of electrofilters with the view of optimisation of dedusting processes (led by Prof. J. Mizeraczyk)

O3/Z1/T1 Generacja i modelowanie plazmy w wyładowaniu mikrowalowym **O3/Z1/T1 Generation and modelling of plasma in microwave discharges**

Celem tych długookresowych prac są badania i doskonalenie mikrowalowych generatorów plazmy. W 2001 r. badania skoncentrowano na generatorach plazmy pod ciśnieniem atmosferycznym.

Realizowano głównie badania wyładowania typu pochodnia plazmowa ('microwave plasma torch'). Badano przede wszystkim układy dużej mocy zasilane z falowodów. Opracowaną wcześniej koncepcję pochodni plazmowej o wielu dyszach, zapewniającej możliwość pracy z dużymi wydatkami gazów, opublikowano w [E1-18]. Badano eksperymentalnie charakterystyki różnych pochodni plazmowych w warunkach pracy ciągłej i impulsowej. Stwierdzono, że elektrodynamiczne charakterystyki generatorów zależą od mocy mikrowalowej doprowadzonej do wyładowania. Przy pracy impulsowej stwierdzono, że gdy wartości mocy w impulsie są rzędu 2 kW, konieczne jest doprowadzenie ciągłej mocy „tła” (200 W ÷ 300 W) dla umożliwienia inicjacji wyładowania po nadejściu nowego impulsu. Rezultaty przedstawiono na konferencjach międzynarodowych [E2-60, 61] i w opracowaniach wewnętrznych [F-44, 45].

Część prac wykonywanych w ramach tego tematu dotyczyła zastosowań wyładowań mikrowalowych typu „pochodnia” w ochronie środowiska,

The purpose of these long term works are investigations and development of microwave plasma generators. In the year 2001 most of the efforts have been concentrated on plasma generators under atmospheric pressure.

Predominantly conducted have been investigations of the torch type microwave plasma. Investigated have been large power systems fed by waveguides. Developed earlier concept of the plasma torch with multiple nozzles, enabling operation with high gas flow rates, has been published in [E1-18]. Investigated have been experimentally the characteristics of different plasma torches under conditions of continuous and impulse operation. It has been concluded that the generator's electrodynamic characteristics depend on the microwave power supplied to the discharge. During the impulse operation it has been concluded that if the values of power in the impulse are of the order of 2 kW, then necessary is a continuous „background” power (200 W ÷ 300 W) to enable initiation of discharge after subsequent impulse. The results have been presented at international conferences [E2-60, 61] and internal reports [F-44, 45]

Part of works conducted in the frame of that topic regarded implementation of microwave discharges of the 'torch' type in environmental protec-

do eliminacji ekologicznie szkodliwych składników mieszanin gazowych. Wykazano praktyczną przydatność takich zastosowań. Wyniki dotyczące eliminacji tlenków azotu i węglowodorów zostały opublikowane w [E1-8; F-8]. Przegląd zastosowań wyładowania typu „pochodnia plazmowa” przedstawiono w opracowaniu [F-7].

W ramach badania fizycznych mechanizmów w wyładowaniach mikrofalowych pod ciśnieniem atmosferycznym przeprowadzono spektroskopowe pomiary temperatury elektronów i temperatury gazu w plazmie wyładowania typu „pochodnia”. Wyniki badań spektroskopowych zreferowano na konferencjach międzynarodowych [E2-12, 15].

Badano przydatność wyładowania mikrofalowego typu ‘torch’ do dekompozycji freonów. Stwierdzono, że stopień dekompozycji oraz wydajność energetyczna rozkładu freonów są dla pochodni plazmowej lepsze niż dla innych metod plazmowych. Uzyskane wyniki zreferowano na konferencjach międzynarodowych [E2-11, 13, 14], a podsumowanie wyników w [E1-7].

Kontynuowano prace nad modelowaniem plazmy wyładowania mikrofalowego w gazie pod ciśnieniem atmosferycznym [E1-25].

Prowadzono prace nad numerycznym modelowaniem plazmy wyładowań w gazie z uwzględnieniem reakcji chemicznych. Część badań stanowiła kontynuację prac nad globalnym modelem wyładowania mikrofalowego. Uzyskane wyniki prac nad globalnym modelem plazmy wyładowania mikrofalowego w

tions, elimination of ecologically harmful components of gaseous mixtures. A practical applicability of such implementations has been shown. The results pertaining to elimination of nitrogen oxides and hydrocarbons have been published in [E1-8; F-8]. A survey of applications of the „plasma torch” discharge has been presented in [F-7].

In the frame of investigations into physical mechanisms of microwave discharges under atmospheric pressure conducted have been spectroscopic measurements of electron temperature and gas temperature in discharge plasma of the ‘torch type’. The results of spectroscopic investigations have been presented at international conferences [E2-12, 15].

Investigated has been the applicability of microwave discharge of the torch type for freon decomposition. It has been concluded that the rate of decomposition and energetic efficiency of freon decomposition are better in the case of plasma torch than for other plasma methods. Obtained results have been presented at international conferences [E2-11, 13, 14] and a summary in [E1-7].

Continued have been works on modelling of microwave discharge plasma in gas under atmospheric pressure [E1-25].

Conducted have been works on numerical modelling of discharge plasma in gas with account of chemical reactions. A part of investigations was a continuation of works on a global model of microwave discharge. Obtained results of investigations on a global

gazach pod ciśnieniem atmosferycznym zaprezentowano na konferencjach międzynarodowych [E2-55, 57] a możliwość rozszerzenia tego modelu na wyładowania impulsowe na sympozjum [E2-54].

Dla potrzeb modelowania wyładowań mikrofalowych podtrzymywanych procesami falowymi prowadzono teoretyczne i numeryczne badania charakterystyk propagacji fali. Opublikowany został artykuł [E1-19] na temat propagacji mikrofal wzdłuż kolumny gęstej plazmy. Temat ten został natychmiast podjęty przez innych badaczy na świecie.

Powiązanie z innymi tematami badawczymi

Badania realizowane w temacie O3/Z1/T1 wykonane były w powiązaniu z pracami prowadzonymi w ramach tematu statutowego O3/Z3/T2, projektów badawczych KBN *Optymalizacja metod generacji i modelowania wyładowań mikrofalowych...* (kier. Z. Zakrzewski), *Optymalizacja procesów eliminacji tlenków azotu z gazów odlotowych za pomocą wyładowania koronowego* (kier. J. Stańco), *Diagnostyka plazmy mikrofalowej typu 'torch' w gazach ekologicznie szkodliwych* (kier. M. Jasiński) oraz prowadzone we współpracy z instytucjami zagranicznymi w Kanadzie, Niemczech, Republice Czech i Francji.

model of microwave discharge plasma in gases under atmospheric pressure have been presented at international conferences [E2-55, 57], whereas the possibility of its extension to model the impulse discharges at a symposium [E2-54].

Theoretical and numerical investigations have been conducted of wave propagation characteristics to aid modelling of microwave discharges sustained by wave processes. An article has been published [E1-19] on microwave propagation along a column of dense plasma. That topic has immediately been taken up by other researchers in the world.

Links with other research topics

Investigations conducted within the topic O3/Z1/T1 have been conducted in combination with the activities of another statute topic O3/Z3/T2, KBN research projects Optimisation of generation methods and modelling of microwave discharges (led by Z. Zakrzewski), Optimisation of nitrogen oxide elimination processes from flue gases by means of corona discharge (led by J. Stańco), Diagnostics of microwave plasma of the torch type in ecologically harmful gases (led by M. Jasiński) as well as conducted in co-operation with foreign institutions from Canada, Germany, Czech Republic and France.

O3/Z2/T1 Charakterystyki aplikacyjne promieniowania lasera przepływowego CO₂

Wykonano badania doświadczalne oraz prace obliczeniowe wg modeli numerycznych, dotyczące właściwości wiązek promieniowania dla laserów cw CO₂ dużej mocy [E2-47]. Badano następujące zagadnienia: formowanie wiązek promieniowania laserów technologicznych, parametry określające charakterystyki przestrzenno-czasowe wiązki w zależności od warunków generacji, oraz wpływ warunków oddziaływania wiązki na rozkłady natężenia promieniowania. W badaniach stosowano skaner wiązki lasera CO₂, skompletowany w IMP PAN [E2-45].

Wykazano, że zastosowanie konfiguracji symetrycznej rezonatora stabilnego jest korzystniejsze w porównaniu do konfiguracji płasko-sferycznych stosowanych w układach jedno-segmentowych, ze względu na bardziej jednorodne i symetryczne wypełnienie polem promieniowania obu stref aktywnych lasera, oraz mniejszą czułość na niedokładności i niestabilności w ustawieniu zwierciadeł.

Stabilność charakterystyk przestrzennych i czasowych promieniowania lasera CO₂ dużej mocy, określano poprzez obserwację zmian zawartości modów niższego rzędu. Wyniki dla konfiguracji rezonatora stabilnego określonych różnymi wartościami liczby Fresnela oraz parametru stabilności

O3/Z2/T1 Application characteristics of cw CO₂ laser radiation

Conducted have been experimental investigations as well as calculations, using numerical models, regarding the properties of radiation beams in the case of cw CO₂ lasers of large power [E2-47]. Investigated have been the following issues: formation of technological lasers radiation beams, parameters determining beam's spatial and time characteristics with respect to generation conditions and finally the influence of beam interaction conditions on the distribution of radiation rate. A scanner of the CO₂ beam has been used in investigations completed at the IFFM PAS [E2-45].

It has been showed that application of a symmetric configuration of a stable resonator is more fortuitous in comparison with flat-spherical configurations used in single-segment systems, due to a more homogeneous and symmetrical coverage of the radiation field of both active laser zones and smaller sensitivity to the inaccuracies and instabilities of the mirror location.

Stability of spatial and time characteristics of CO₂ laser radiation of large power has been determined through observation of the changes of the modes of lower order contents. The results for the stable resonator configuration determined by various values of the Fresnel number and the stability parameter have been presented in [E1-21; E2-

przedstawiono w pracach [E1-21; E2-46; F-31]. Wyniki badań stabilności czasowej stanu polaryzacji wiązki, poprzez jednoczesny pomiar obu składowych ortogonalnych wektora polaryzacji zostały opublikowane w [E1-14]. W pracy [E1-28] podsumowano wyniki badań wewnątrz-rezonatorowej modulacji lasera cw CO₂, za pomocą strumienia gazu absorbującego.

Wyniki modelowania w przybliżeniu 1D, sprzężenia między ośrodkiem laserowym a polem promieniowania formowanym przez rezonator, referowano na konferencji [E2-4]. Wykazano, że niestabilności parametrów wyładowania a także zmiany składu mieszaniny podczas pracy lasera, spowodowane procesami rozpadu molekuł mogą wpływać istotnie na poziom mocy wyjściowej oraz charakterystyki wiązki promieniowania.

Modelowano zjawiska fizyczne w warstwie przyściennej wyładowania z ukierunkowaniem na wyznaczenie stacjonarnych funkcji rozkładu energii jonów (IEDF). Do tego celu zastosowano model 'Particle in Cell' rozwiązywany metodą Monte-Carlo [E2-2]. W pracy przedstawiono obliczone rozkłady jonów dodatnich i ujemnych w funkcji odległości od ścianki.

W pracach [E1-2; E2-3] przedstawiono wyniki badań wpływu pola wysokiej częstotliwości (HF) na charakterystyki plazmy DC w wyładowaniach laserów CO₂. Uwzględniono wpływ zwiększonej jonizacji po załączeniu pola HF i przedyskutowano wpływ polary-

46; F-31]. The results of investigations of the time stability of the beam polarisation state, through a simultaneous measurement of both orthogonal components of the polarisation vector have been published in [E1-14]. In [E1-28] summarised have been the results of investigations of inner resonator cw CO₂ laser modulation by means of the absorbing gas.

Results of 1D modelling of a coupling between the laser medium and a radiation field formed by the resonator have been presented at a conference [E2-4]. It has been proved that the discharge parameters instabilities and also the changes of the mixture composition during laser operation, caused by the processes of molecule deterioration, can influence significantly the level of output power and characteristics of the radiation beam.

Modelled have been physical phenomena in the discharge boundary layer directed at determination of stationary functions of ion energy distribution (IEDF). A model 'Particle in Cell' has been used for that purpose, which has been solved by means of the Monte-Carlo method [E2-2]. In the works presented have been calculated distributions of positive and negative ions in function of the distance from the wall.

In [E1-2; E2-3] presented have been the results of investigations of the high frequency field (HF) on DC plasma characteristics in CO₂ lasers discharges. Considered has been the influence of increased ionisation after connection of HF field and discussed has been the

zacji ośrodka oraz wartości amplitudy pola HF na wzbudzenie lasera. Amplituda $E_{HF} = 600 \text{ V/cm}$ odpowiadała wartości pola DC w laserze MLT 1200, w którym $E_{dc}/N = 4.5 \cdot 10^{-20} \text{Vm}^2$.

Wyniki badań procesów plazmochemicznych w laserze CO opublikowano w [E1-3] a wyniki modelowania oraz diagnostyki spalania mieszaniny propanu z powietrzem przedstawiono w [E2-1].

Zastosowania technologiczne wiązek promieniowania laserów CO_2 dużej mocy przedstawiono na konferencjach [E1-6; E2-58].

Powiązanie z innymi tematami badawczymi

Prace dotyczące realizacji tematu O3/Z2/T1 wspierane były projektem badawczym KBN *Analiza oraz rejestracja parametrów przestrzenno-czasowych wiązek promieniowania w technologicznych systemach laserów dużej mocy* oraz grantem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej *Stoisko z laserem dużej mocy CO_2 dla potrzeb stereolitografii laserowej i szybkiego prototypowania*.

O3/Z2/T2 Badania doświadczalne wymiany energii oraz emisji w matrycach stałych

W ramach pracy doktorskiej (R. Jendrzejewski) i magisterskiej (P. Zyśk) badano proces napawania struktur wielo-

influence of the medium polarisation and values of the HF field amplitude on the laser excitation. The amplitude $E_{HF} = 600 \text{ V/cm}$ corresponds to a value of the DC field in MLT 1200 laser, where $E_{dc}/N = 4.5 \cdot 10^{-20} \text{Vm}^2$.

The results of investigations of plasma and chemical processes in CO laser have been published in [E1-3], whereas the results of modelling and diagnostics of propane-air mixture combustion have been presented in [E2-1].

Technological applications of large power CO_2 laser beam radiation have been presented at the conferences [E1-6; E2-58].

Links with other research topics

The works dealing with realisation of the topic O3/Z2/T1 have been accompanied by a KBN research project Analysis and recording of spatial and time parameters of radiation beam in technological systems of lasers of large power as well as by a Foundation for Polish Science grant A stand with a large power CO_2 laser for the needs of laser stereolithography and fast prototyping.

O3/Z2/T2 Experimental investigations of energy exchange and emission in solid matrices

In the frame of a doctoral dissertation by R. Jendrzejewski and a Master of Science dissertation by P. Zyśk investigated has been a process of coating of

warstwowych za pomocą zogniskowanej wiązki laserowej [B-1, 3; D1-2; E1-9; E2-16; 17]. Opracowano model i wykonano obliczenia numeryczne czasowych zależności rozkładów temperatur w laserowo napawanych strukturach wielowarstwowych z brązu B10 oraz stellitu SF₆, dla różnych wartości parametrów procesu laserowego napawania proszków metali oraz różnych materiałów podłoża.

Wykonano pierwsze próby napawania warstw na podłożach wstępnie podgrzanych do zadanej temperatury, bliskiej punktu Curie dla Fe. Do pomiaru temperatury podłoża w trakcie procesu użyto szybkiego pirodetektora. Zbadano doświadczalnie zależność czasową sygnału pirodetektora od temperatury w różnych warunkach pracy układu [B-3]. Stwierdzono, że sygnał ten może być wykorzystany dla potrzeb sterowania procesem przy prędkościach skanowania nie przekraczających 110 cm/min, co zapewnia spełnienie technologicznego warunku równomierności napawanych warstw. Pomiar potwierdziły wyniki obliczeń dla szybkości stygnięcia warstw, uzyskane uprzednio w pracy [B-1], weryfikując jednocześnie przyjęty model opisu zjawisk.

Badania są prowadzone we współpracy z Politechniką Gdańską (W. Mechaniczny, W. Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej), Instytutem Elektroniki BAN (Sofia), oraz Instytutem Metalurgii CENIM/CSIC (Madryt).

Opublikowano wyniki badań przydatności kryształów Ne, Ar, Kr, Xe oraz N₂ domieszkowanych molekułami, rodnikami i kompleksami o dużych prze-

multilayer structures by means of a focused laser beam [B-1, 3; D1-2; E1-9; E2-16, 17]. Developed has been a model and conducted numerical calculations of time characteristics of temperature distributions in laser-coated multilayer structures of B10 brass and SF₆ stellite, for different values of parameters of laser process of coating of metal powder and various materials of the base.

Performed have been first attempts of coating of layers on the bases preliminarily heated to the given temperature, close to the Curie point for Fe. A fast pyrodetector has been used for the measurements of the base temperature. Experimentally investigated has been the time dependence of the pyrodetector signal on the temperature under various system operation conditions [B-3]. It has been concluded that such signal can be used in controlling of processes at the scanning velocities not exceeding 110 cm/min, which ensures fulfilling of a technological condition of the simultaneousness of coated layers. The measurements confirmed the results of calculations for fast cooling of layers, obtained previously in [B-1] verifying at the same time the assumed model of the description of phenomena.

Investigations are conducted in cooperation with the Technical University of Gdańsk (Faculty of Mechanical Engineering, Faculty of Technical Physics and Applied Mathematics), Institute of Electronics of Bulgarian Academy of Sciences, Sofia and Institute of Metallurgy CENIM/CSIC (Madrid).

Published have been the results of

krojach czynnych do generacji emisji wymuszonej [E1-4, 9, 23; E2-8, 48, 49]. W pracach przedyskutowano, m.in. nowe dane doświadczalne z badań luminescencji kryształu Ar domieszkowanego atomami Mo w temperaturach kriogenicznych [E1-5; E2-8]. Wyniki prac teoretycznych dotyczących nie-fourierowskiego mechanizmu wymiany energii wzbudzenia w ośrodkach kriogenicznych przedstawiono w [E1-1]. Wyniki pomiarów spektroskopowych dla matryc 'sol-gel' domieszkowanych jonami miedzi i jonami ziem rzadkich RE^{3+} , badanych w temperaturze pokojowej zaprezentowano w [E1-23; E2-48, 49].

Pierwszą w literaturze dyskusję systematycznych badań doświadczalnych generacji harmonicznym femtosekundowej wiązki lasera 760 nm w nadciekłym helu 4HeII, przedstawiono w pracy [E1-27].

Badania wykonano we współpracy z Inst. Fizyki Eksperymentalnej FU w Berlinie, Inst. Fizyki Uniw. Gd. oraz Wydziałem FTiMS Pol. Gdańskiej.

Podjęto badania dotyczące wykorzystania metod spektroskopowych oraz ablacji laserowej dla potrzeb diagnostyki oraz monitorowanego oczyszczania powierzchni zabytków kultury materialnej [B-2; E2-40÷42]. Skompletowano i uruchomiono dwa stanowiska badawcze, bazujące na wykorzystaniu lasera Nd-YAG z modułami harmonicznymi jako źródła wzbudzenia, umożliwiające skanowanie powierzchni próbek wiązką lasera oraz wykonanie odpowiednich badań spektroskopowych

investigations of the applicability of Ne, Ar, Kr, Xe and N₂ crystals admixed by the molecules, radicals and complexes with large active cross-sections for generation of excited emission [E1-4, 9, 23; E2-8, 48, 49]. In the works discussed have been, amongst the others, new experimental data on Ar crystal luminescence investigations admixed by Mo atoms under cryogenic temperatures [E1-5; E2-8]. The results of theoretical works regarding the non-Fourier mechanism of excitation energy transport in cryogenic media have been presented in [E1-1]. The results of spectroscopic measurements for the 'sol-gel' matrices admixed by the copper ions as well as rare soil ions RE^{3+} , investigated under room temperature have been presented in [E1-23; E2-48, 49].

The first in discussion in the literature of systematic experimental investigations of harmonic generation of the femtosecond laser beam 760 nm in the superfluid helium 4HeII, has been presented in [E1-27].

Investigations have been conducted in co-operation with the Institute of Experimental Physics of the FU Berlin, Institute of Physics of the University of Gdańsk and the Faculty of Technical Physics and Applied Mathematics of the Technical University of Gdańsk.

Investigations have been commenced regarding the utilisation of spectroscopic methods and laser ablation for the needs of diagnostics, monitoring and renovation of the material culture heritage [B-2, E2-40÷42]. Completed and commissioned have been two rese-

[B-2]. Stosując technikę LIPS (Laser Induced Plasma Spectroscopy) uzyskano oryginalne wyniki, potwierdzające jej skuteczność w kontroli in-situ procesu laserowego oczyszczania zabytkowych dokumentów [E2-40÷42].

Dla potrzeb monitoringu laserowej ablacji zanieczyszczeń z powierzchni zabytkowego kamienia, podjęto prace doświadczalne nad wykorzystaniem efektu akustycznego towarzyszącego fali uderzeniowej do monitorowania przebiegu procesu [E2-9, 10].

Prace są rozwijane we współpracy z następującymi instytucjami: Instytut Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK Toruń, ICP/CSIC Madryt, Instytut Fizyki Doświadczalnej UG, Wydział Fizyki Uni. Ghent i Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej PG, Gdańsk.

Powiązanie z innymi tematami badawczymi

Prace przy realizacji tematu O3/Z2/T2 wykonywane były w powiązaniu z pracami prowadzonymi w ramach projektów badawczych KBN *Stereolitografia laserowa przy użyciu proszków metali: zbadanie oraz wybór parametrów procesu* (kier. G. Śliwiński), *Technika laserowa w konserwacji obiektów zabytkowych* (kier. G. Śliwiński), *Zbadanie wpływu parametrów laserowego napawania warstw stelitowych na ich odporność erozyjną w wyniku mikropełnięć* (kier. R. Jendrzewski) oraz *Laserowe oczyszczanie powierzchni zabytkowych z kamienia* (kier. M. Jankowska).

arch rigs, based on Nd-YAG laser with harmonic modules as excitation sources, enabling laser beam scanning of the sample surfaces and conducting of relevant spectroscopic investigations [B-2]. Using the Laser Induced Plasma Spectroscopy technique (LIPS) obtained have been original results, confirming its applicability in the in-situ control of the laser process of purification of historic documents [E2-40÷42].

For the needs of laser monitoring of contamination ablation from the surface of historic stone, undertaken have been experimental works on utilisation of the acoustic effect accompanying the shock wave for monitoring the process [E2-9, 10].

The works are developed in cooperation with the following institutions: Institute of Monumental Studies and Conservatory of Toruń University, ICP/CSIC Madrid, Institute of Experimental Physics of University of Gdańsk, Department of Physics of Ghent University and the Faculty of Technical Physics and Applied Mathematics of Technical University of Gdańsk.

Links with other research topics

Works during realisation of O3/Z2/T2 topic have been realised in combination with the works conducted in the frame of KBN research projects: Laser stereolitography using metal powders: investigations and selection of process parameters (led by G. Śliwiński), Laser technique in monumental objects conservation (led by G. Śliwiński), Investi-

O3/Z3/T1 Zastosowanie techniki laserowej do wizualizacji przepływów i mikroobróbki materiałów

Badania wykonywano w ramach dwóch zadań: *Zastosowanie techniki laserowej do wizualizacji przepływów* oraz *Zastosowanie techniki laserowej do mikroobróbki materiałów*. Obydwa zadania łączy wspólne źródło laserowe (impulsowy laser CuBr lub impulsowy laser Nd:YAG z podwójną przemianą częstotliwości), które może zostać zastosowane zarówno do wizualizacji przepływów jak i do mikroobróbki materiałów.

Zastosowanie techniki laserowej do wizualizacji przepływów. Zadanie dotyczyło zastosowania impulsowych laserów CuBr i Nd:YAG do wizualizacji przepływów gazów i cieczy oraz pomiaru pól prędkości przepływów metodą PIV (Particle Image Velocimetry). W ramach tego zadania wykonano badania rozkładu pól prędkości:

- w tunelu aerodynamicznym i hydrodynamicznym,
- w kilku modelach reaktorów plazmy nietermicznej do oczyszczania gazów odlotowych ze szkodliwych gazów i modelach elektrofiltru, tzn. w przepływach, w których występuje pole elektryczne.

Wyniki pomiarów pól prędkości w tunelu aerodynamicznym i hydrodynamicznym opublikowano w [A-1; E1-16;

gations of the influence of laser coating of stellite layers on their erosion resistance as a results of microcracks (*led by R. Jendrzewski*) and Laser purification of historic stone surfaces (*led by M. Jankowska*)

O3/Z3/T1 Application of laser technique for flow visualisation and material microprocessing

Investigations have been conducted in the frame of two topics: Application of laser technique for flow visualisation and Application of laser technique for material microprocessing. Both topics are have a laser source in common (an impulse CuBr laser or Nd:YAG impulse laser with a double frequency conversion), which can be applied both in flow visualisation and material microprocessing. paragraph Application of laser technique for flow visualisation. The topic was dealing with application of impulse CuBr and Nd:YAG lasers for flow visualisation in gases and liquids as well as measurements of velocity fields by means of Particle Image Velocimetry (PIV). In the frame of that topic investigated have been velocity distributions in:

- aerodynamic and hydrodynamic tunnels,
- several models of non-thermal plasma reactors for purification of flue gases from harmful substances as well as in the models of elec-

E2-27, 34, 59; F-14], a wyniki pomiarów pól prędkości w modelach reaktorów plazmy nietermicznej i modelach elektrofiltru w [E2-28, 35, 39, 44; F-18, 20, 21, 39]. Badania były częściowo finansowane przez projekt badawczy KBN *Optymalizacja procesów eliminacji tlenków azotu z gazów odlotowych za pomocą wyładowania koronowego* (kier. J. Stańco).

Wykonano je we współpracy z następującymi ośrodkami zagranicznymi: Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia (prof. T. Ohkubo) i McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Hamilton, Ontario, Kanada (Prof. J.-S. Chang).

Wyniki potwierdziły przydatność techniki PIV do badań przepływów w wybranych tunelach aero- i hydrodynamicznych oraz w urządzeniach przepływowych w obecności pola elektrycznego (elektrofiltry i reaktory plazmowe).

Badania przepływu w modelach reaktorów plazmy nietermicznej do oczyszczania gazów odlotowych ze szkodliwych gazów wykazały po raz pierwszy, że w procesie oczyszczania bierze udział nie tylko obszar, gdzie istnieje plazma, ale także uczestniczą w nim obszary pozaplazmowe, do których wskutek tak zwanego przepływu wtórnego wywołanego obecnością pola elektrycznego napływają z obszaru plazmowego cząsteczki chemicznie aktywne. Wykrycie tego zjawiska ma zasadnicze znaczenia dla zrozumienia mechanizmu oczyszczania gazów odlotowych i mode-

trofilters, i.e. in flows where electric field is applied.

Results of measurements of velocity fields in aerodynamic and hydrodynamic tunnels have been published in [A-1; E1-16; E2-27, 34, 59; F-14], whereas the results of velocity field measurements in the models of non-thermal plasma reactors and models of electrofilters in [E2-28, 35, 39, 44; F-18, 20, 21, 39]. Investigations were partially financed by the KBN research grant Optimisation of nitrogen oxide elimination processes from flue gases by means of corona discharge (led by J. Stańco)

Investigations have been conducted in co-operation with the following foreign institutions: Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan (prof. T. Ohkubo) and McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Hamilton, Ontario, Canada (Prof. J.-S. Chang).

The results have confirmed the applicability of the PIV method in investigations of selected aero and hydrodynamic tunnels as well as in fluid-flow equipment in the presence of electric field (electrofilters and plasma reactors).

Investigations of the flow in the models of non-thermal plasma reactors for purification of flue gases from harmful substances have shown for the first time that in the purification process not only the region where plasma is present but also the region, where plasma is not present, where, due to so called secondary flow, induced by the presence of

lowania kinetyki procesów chemicznych w reaktorach plazmy nietermicznej oraz ich optymalizacji.

Zastosowanie techniki laserowej do mikroobróbki materiałów Zadanie dotyczyło rozwoju systemu laserowego MOPA (Master Oscillator – Power Amplifier) CuBr oraz jego zastosowania do precyzyjnej obróbki materiałów. Realizacja tego zadania odbywała się częściowo w ramach projektu badawczego NATO Science for Peace pn. *Development of a system based on a high power and high efficiency copper bromide laser for precision materials processing* (partnerzy zagraniczni: Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bułgaria (prof. N. Sabotinov); Institute of Quantum Electronics, National Council of Research, Florence, Włochy, (prof. R. Salimbeni); University of Bayreuth, Department of Metallic Materials, Bayreuth, Niemcy, (dr H. Waldmann); Pulssvet Co., Sofia. Bułgaria, (dr I. Kostadinov) oraz projektu badawczego SPUB pn. Dofinansowanie projektu badawczego NATO Science for Peace 972685 – *Development of a system based on a high power and high efficiency copper bromide laser for precision materials processing*. Wyniki opublikowano w [E1-12, 13; E2-26, 27, 32, 33; F-13, 19, 29].

Najważniejsze rezultaty tego zadania to współudział w skonstruowaniu lasera CuBr o mocy 50 W do systemu laserowego MOPA oraz dalsza modyfi-

electric field, arrive chemically active particles from the plasma region. Discovery of that phenomenon has a fundamental importance in understanding of the mechanism of flue gases purification and modelling of the kinetics of chemical processes in non-thermal plasma reactors and their optimisation.

Application of laser technique for material microprocessing. *The topic was dealing with the development of a (Master Oscillator – Power Amplifier (MOPA) CuBr laser system and its implementation in a precision material processing. Realisation of that topic took place partially in the frame of NATO Science for Peace research project titled Development of a system based on a high power and high efficiency copper bromide laser for precision materials processing (foreign partners: Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria (prof. N. Sabotinov); Institute of Quantum Electronics, National Council of Research, Florence, Italy, (prof. R. Salimbeni); University of Bayreuth, Department of Metallic Materials, Bayreuth, Germany, (dr H. Waldmann); Pulssvet Co., Sofia. Bulgaria, (dr I. Kostadinov) and the accompanying KBN project titled. Co-financing of the NATO Science for Peace research project 972685 – Development of a system based on a high power and high efficiency copper bromide laser for precision materials processing. The results have been published in [E1-12, 13; E2-26, 27,*

kacja unowocześniająca system laserowy MOPA CuBr do precyzyjnej obróbki materiałów. W chwili obecnej opracowany i wykonany przez nas przy pomocy partnerów grantu NATO system laserowy MOPA CuBr jest jednym z najbardziej zaawansowanych urządzeń tego typu w Europie.

Powiązanie z innymi tematami badawczymi

Prace dotyczące realizacji tematu O3/Z3/T1 wykonywane były w powiązaniu z pracami prowadzonymi w ramach projektu badawczego NATO Science for Peace SFP-972685 pn. *Development of a System Based on a High Power and High Efficiency Copper Bromide Laser for Precision Materials Processing* oraz projektu badawczego Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej *Teoretyczne i eksperymentalne badania pól prędkości spalin w modelach elektrofiltrów celem optymalizacji procesu odpylania*.

O3/Z/T2 Zastosowanie techniki plazmowej do oczyszczania gazów odlotowych

Długofalowym celem badań prowadzonych jest opracowanie nowych, efektywnych i proekologicznych plazmowych metod oczyszczania różnego rodzaju gazów odlotowych ze szkodliwych składników gazowych. Tematyka ta

32, 33; *F-13, 19, 29*].

Co-operation in a development of the CuBr laser of 50 W power for the MOPA laser system as well as further modernisation of the MOPA laser system for material precision processing can be regarded as the most important result of that topic At present, the MOPA CuBr laser system, developed and constructed in house in co-operation with the NATO project partners, is one of the most advanced systems of that kind in Europe.

Links with other research topics

The works regarding realisation of the O3/Z3/T1 topic have been conducted in connection with the works of the NATO Science for Peace research project SFP-972685 titled Development of a System Based on a High Power and High Efficiency Copper Bromide Laser for Precision Materials Processing as well as the Foundation of Polish Science project Theoretical and experimental investigations of flue gases velocity fields in the models of electrofilters with the view to optimise the dedusting process.

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

Development of new, effective and proecological plasma methods for purification of various types of flue gases from

jest zgodna z priorytetowymi tematami R&D Unii Europejskiej.

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

- eliminację tlenków azotu z symulatorów gazów odlotowych w różnego rodzaju reaktorach plazmy nietermicznej (reaktor typu 'packed-bed', reaktor ze stałonałpięciowym dodatnim wyładowaniem koronowym),
- rozkład tlenków azotu, węglowodorów i freonów za pomocą wyładowania mikrofalowego typu „pochodnia”,
- zastosowanie techniki spektroskopii indukowanej laserem (Laser Induced Spectroscopy) do pomiarów czasowo-przestrzennych rozkładów cząstek aktywnych w plazmie nietermicznej stosowanej do dekompozycji tlenków azotu,
- badania właściwości różnych modów wyładowania koronowego,
- rozkład i utylizację odpadów gumowych metodą pirolizy plazmowej.

Prace dotyczące eliminacji tlenków azotu z symulatorów gazów odlotowych dotyczyły dwóch rodzajów reaktorów plazmy nietermicznej:

- reaktora typu 'packed-bed', który może być zastosowany do eliminacji tlenków azotu emitowanych przez silniki spalinowe, np. w pojazdach mechanicznych,

harmful gaseous components has been a long term objective of conducted in the group investigations. The scope of these problems is consistent with the R&D priorities of European Union.

The scope of works in the present year on the application of plasma technology for purification of flue gases encompassed:

- *elimination of nitrogen oxides from flue gas simulators in various types of non-thermal plasma reactors (a reactor of the 'packed-bed' type, a reactor with a constant voltage positive corona discharge),*
- *decomposition of nitrogen oxides, hydrocarbons and freons by means of the microwave discharge of the torch type,*
- *application of Laser Induced Spectroscopy in time and space measurements of distributions of active particles in non-thermal plasma used in nitrogen oxides decomposition,*
- *investigations of the properties of various types of corona discharge,*
- *decomposition and utilisation of rubber waste by means of plasma pyrolysis.*

The works regarding the elimination of nitrogen oxides from flue gases simulators regarded two types of non-thermal plasma reactors:

- *reactor of the 'packed-bed' type, which can be used in elimination*

- reaktora ze stałonapięciowym dodatnim wyładowaniem koronowym, który może zostać zastosowany do eliminacji tlenków azotu emitowanych przez urządzenia o wydajności 10-20 tys. m³/h, np. kotłownie miejskie.

Badania eliminacji tlenków azotu z symulatorów gazów odlotowych w reaktorze typu 'packed-bed' realizowane były przy współpracy naukowej z Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia (prof. T. Ohkubo). Dotyczyły minimalizacji produkcji podtlenku azotu N₂O podczas procesu eliminacji tlenku azotu NO w reaktorze typu 'packed-bed'. Wykazano, że produkcja N₂O może być zredukowana poprzez odpowiednią technologię wytwarzania materiału wypełniającego reaktor typu 'packed-bed', którymi są granulki z tytanianu baru BaTiO₃. Uzyskane wyniki zostały opublikowane w [E1-11; E2-38].

Badania eliminacji tlenków azotu z symulatorów gazów odlotowych w reaktorze ze stałonapięciowym dodatnim wyładowaniem koronowym obejmowały badania eksperymentalne oraz modelowanie komputerowe kinetyki procesów chemicznych z ukierunkowaniem na wyjaśnienie procesu produkcji ozonu i jego roli w procesie dekompozycji tlenków azotu. Badania wykazały, że w powietrzu ozon (a także podtlenek azotu N₂O) jest produkowany podczas wyładowania koronowego, zwanego strimerowym. Natomiast ozon nie jest produ-

of nitrogen oxides emitted by the combustion engines, for example in automobiles,

- *reactor with constant-voltage positive corona discharge, which can be used for elimination of nitrogen oxides emitted by the equipment with the efficiency of 10 000-20 000 m³/h, for example boiler houses.*

Investigations of nitrogen oxides elimination from flue gas simulators in the 'packed-bed' type of reactor have been realised in co-operation with Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan (prof. T. Ohkubo). They regarded minimisation of production of nitrous oxide N₂O during elimination process of nitrogen oxide NO in the reactor of the 'packed-bed' type. It has been shown, that the production of N₂O can be reduced by adequate technology of production of the filling material in the 'packed-bed' reactor, which is the barium titanate BaTiO₃. Obtained results have been published in [E1-11; E2-38].

Investigations of nitrogen oxide elimination from flue gas simulators in the reactor with a constant-voltage positive corona discharge encompassed experimental investigations and computer modelling of the kinetics of chemical processes directed at explanation of the ozone production process and its role during decomposition of nitrogen oxides. Investigations have shown, that ozone in the air (as well as nitrous ox-

kowany w wyładowaniu iskrowym, które jest silnym źródłem tlenków azotu NO i NO₂. Stąd wniosek, że w reaktorach plazmy nietermicznej do eliminacji tlenków azotu należy unikać wyładowania iskrowego, w które bardzo często przechodzi samoistnie koronowe wyładowanie strimerowe. Wyniki uzyskane eksperymentalnie i na drodze modelowania komputerowego doprowadziły do postawienia hipotezy, że istotną rolę w procesie eliminacji NO i NO₂ w plazmie nietermicznej wyładowania koronowego może odgrywać trójtlenek azotu NO₃, który powstaje podczas reakcji ozonu z NO. Badania wykonano we współpracy z Univeristy of Paul Sabatier, Centre of Plasmas and their Applications, Toulouse, Francja (dr M. Yousfi); McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering i Comenius University, Faculty of Physics and Mathematics, Bratislava, Słowacja (prof. J. Skalny). Uzyskane rezultaty opublikowano w [D1-1; E2-5÷7, 31; F-1, 17]. Niektóre z powyższych badań były częściowo finansowane z projektu badawczego pn. *Optymalizacja procesów eliminacji tlenków azotu z gazów odlotowych za pomocą wyładowania koronowego* (kier. J. Stańco).

Badania rozkładu tlenków azotu, węglowodorów i freonów za pomocą wyładowania mikrofalowego typu „pochodnia” były wykonywane wspólnie z zespołem badawczym Zakładu Elektrodynamiki Gazów Zjonizowanych O3/Z1 (kier. przez prof. Z. Zakrzewskiego). Głównym ich wynikiem jest opracowanie wysokoefektywnej metody dekom-

de N₂O) is produced during the corona discharge, known as a streamer discharge. On the other hand ozone is not produced during the glow discharge, which is a strong source of nitrogen oxides NO and NO₂. Hence a conclusion, that in the non-thermal plasma reactors for elimination of nitrogen oxides we must refrain from the glow discharge, which very often converts into a self sustained streamer discharge. The results obtained both experimentally and during numerical modelling led to the hypothesis that an important role in the NO and NO₂ elimination process in non-thermal plasma of corona discharge can be played by the nitrogen trioxide NO₃, which is formed during the ozone reaction and NO. Investigations have been conducted in cooperation with the University of Paul Sabatier, Centre of Plasmas and their Applications, Toulouse, France (Dr M. Yousfi); McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering and Comenius University, Faculty of Physics and Mathematics, Bratislava, Slovakia (prof. J. Skalny). Obtained results have been published in [D1-1; E2-5÷7, 31; F-1, 17]. Some of the above investigations have been partially financed from the research project titled Optimisation of nitrogen oxide elimination processes from flue gases by means of corona discharge (led by J. Stańco).

Investigations of the decomposition of nitrogen oxides, hydrocarbons and freons by means of microwave discharge of the torch type have been conducted

pozycji freonów za pomocą plazmy mikrofalowej pod ciśnieniem atmosferycznym. Innym ważnym rezultatem jest opracowanie spektroskopowej metody pomiaru temperatury gazu roboczego w plazmie mikrofalowej. Badania wykonano we współpracy z Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia (prof. T. Ohkubo) i McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Hamilton, Ontario, Kanada (prof. J.-S. Chang). Wyniki zostały opublikowane w [E1-7, 8; E2-11÷15; F-7]. Badania były częściowo finansowane z projektów badawczych KBN: *Optymalizacja metod generacji i modelowania wyładowań mikrofalowych dla eliminacji ekologicznie szkodliwych gazów* (kier. Z. Zakrzewski) i *Diagnostyka plazmy mikrofalowej typu 'torch' w gazach ekologicznie szkodliwych* (kier. M. Jasiński).

W ramach współpracy z Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia (Prof. T. Ohkubo) kontynuowane były prace nad zastosowaniem techniki spektroskopii indukowanej laserem (Laser Induced Spectroscopy) do pomiarów czasowo-przestrzennych cząstek aktywnych w plazmie nierównowagowej stosowanej do dekompozycji tlenków azotu. W roku 2001 głównym rezultatem badań dotyczących zastosowania techniki spektroskopowej indukowanej laserem do dekompozycji tlenków azotu był przestrzenny pomiar stopnia dekompozycji NO w reaktorze plazmowym o konfiguracji elektrod igła-płyta oraz w

together with the research group from the Department of Electrodynamics of Ionised Gases O3/Z1 (led by prof. Z. Zakrzewski). Their primary outcome is the development of highly-efficient method of freon decomposition by means of microwave plasma under atmospheric pressure. Another important result is the development of a spectroscopic method of temperature measurement of a working gas in the microwave plasma. Investigations have been conducted in co-operation with the Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan (prof. T. Ohkubo) and McMaster University, Department of Engineering Physics, Faculty of Engineering, Hamilton, Ontario, Canada (prof. J.-S. Chang). The results have been published in [E1-7, 8; E2-11÷15; F-7]. Investigations have partially been co-financed from the KBN research projects: Optimisation of generation methods and modelling of microwave discharges for elimination of ecologically harmful gases (led by Z. Zakrzewski) and Diagnostics of microwave plasma of the torch type in ecologically harmful gases (led by M. Jasiński).

In the frame of co-operation with the Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan (Prof. T. Ohkubo) continued have been works of implementation of Laser Induced Spectroscopy in time and space measurements of active particles in non-equilibrium plasma used in decomposition of nitrogen oxides. In 2001 the main result of investigations regarding implementation of Laser In-

reaktorze typu ‘corona radical shower’. Wyniki opublikowano w [E1-10, 15, 24; E2-18, 20, E2-22÷25, E2-52, 53].

Badania właściwości różnych modów wyładowania koronowego były również wykonywane we współpracy z Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia (prof. T. Ohkubo). Badano charakterystyki elektryczne dwóch podstawowych modów wyładowania koronowego, jarzeniowego i strimerowego, które są najważniejsze z punktu widzenia wykorzystania wyładowania koronowego do dekompozycji szkodliwych gazów. Pomierzone przestrzenne rozkłady obu modów wyładowania koronowego zostaną wykorzystane do optymalizacji reaktorów plazmowych. Wyniki zreferowano na 4 konferencjach [E2-19, 50, 51].

Badania rozkładu i utylizacji odpadów gumowych metodą pirolizy plazmowej były tematem rozprawy doktorskiej J. Szuszkiewicza z Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, obronionej w roku 2000. Podsumowanie wyników tej pracy, której głównym rezultatem było opracowanie metody rozkładu odpadów gumowych za pomocą strumienia plazmy o energetycznej efektywności wynoszącej 3 kWh na 1 kg proszku gumowego zostało opublikowane w [E1-26].

Powiązanie z innymi tematami badawczymi

Prace przy realizacji tematu O3/Z3/T2 wykonywane były w powiązaniu z pra-

duced Spectroscopy in decomposition of nitrogen oxides was a spatial measurement of the decomposition rate of NO in the plasma reactor with the needle-plate electrode configuration and reactor of the corona radical shower type. The results have been published in [E1-10, 15, 24; E2-18, 20; E2-22÷25, E2-52, 53].

Investigations of the properties of various modes of corona discharge have also been conducted in co-operation with the Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan (prof. T. Ohkubo). Investigated have been electric characteristics of two basic modes of corona, glow and streamer discharges, which are the most important from the point of view of utilisation of corona discharge in decomposition of harmful gases. Measured spatial distributions of both modes of corona discharge will be used in optimisation of plasma reactors. The results have been presented at 4 conferences [E2-19, 50, 51].

Investigations of decomposition and utilisation of rubber waste by means of plasma pyrolysis were a foundation of the doctoral dissertation by J. Szuszkiewicz from the Agricultural-Technical Academy in Olsztyn, defended in 2000. A summary of the results of that work, where the major result was development of a method of rubber waste decomposition by means of plasma stream with energetical efficiency of 3 kWh per 1 kg of rubber powder, has been published in [E1-26].

camy prowadzonymi w ramach tematu statutowego O3/Z1/T1 oraz projektów badawczych KBN *Optymalizacja metod generacji i modelowania wyładowań mikrofalowych dla eliminacji ekologicznie szkodliwych gazów* (kier. Z. Zakrzewski) i *Optymalizacja procesów eliminacji tlenków azotu z gazów odlotowych za pomocą wyładowania koronowego* (kier. J. Stańco).

O3/Z3/K1 Badanie pól prędkości spalin w modelach elektrofiltrów metodami laserowymi celem optymalizacji procesu odpylania

Celem było przebadanie pól prędkości w modelach elektrofiltru metodami wizualizacji laserowej i PIV. Zgodnie z tym celem zarejestrowano obrazy przepływu i pomierzono pola prędkości przepływu w modelach elektrofiltru z jedną lub trzema elektrodami drutowymi. Badania były częściowo finansowane z projektu badawczego FNP pn. *Teoretyczne i eksperymentalne badania pól prędkości spalin w modelach elektrofiltrów celem optymalizacji procesu odpylania*.

Wykonano były one we współpracy z Oita University, Department of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japonia (prof. T. Ohkubo). Wyniki badań zostały opublikowane w [E1-17; E2-29, 37].

Z uzyskanych rezultatów wynika, że

Links with other research topics

The works conducted during realisation of the topic O3/Z3/T2 have been combined with the works of the statute topic O3/Z1/T1 and KBN research projects: Optimisation of generation methods and modelling of microwave discharges for elimination of ecologically harmful gases (led by Z. Zakrzewski) and Optimisation of nitrogen oxide elimination processes from flue gases by means of corona discharge (led by J. Stańco).

O3/Z3/K1 Investigations of flue gas velocity fields by means of laser techniques in the models of electrofilters with the view of optimisation of dedusting processes

The aim was to investigate velocity fields in the models of electrofilters by means of laser visualisation and PIV methods. According to that objective recorded have been the flow screens and measured flow velocity fields in the electrofilter models with one or three wire electrodes. Investigations have partially been financed from the FNP research project titled Theoretical and experimental investigations of flue gas velocity fields in models of electrofilters with the view to dedusting optimisation.

These have been conducted in cooperation with the Oita University, De-

obie zastosowane metody laserowe nadają się do wizualizacji i pomiarów pól przepływów w modelach elektrofiltrów, w szczególności do badania właściwości struktur przepływów wywołanych obecnością pola elektrycznego (przepływ wtórny wywołany prądem jonowym). Pomiary pola prędkości w pobliżu elektrod zbiorczych wykazały, że prędkość przepływu wtórnego jest porównywalna ze średnią prędkością gazu roboczego. Może to mieć istotny wpływ na skuteczność usuwania cząstek pyłu z elektrofiltru, w szczególności trudno usuwalnych cząstek submikronowych.

partment of Electrical and Electronic Engineering, Oita, Japan (prof. T. Ohkubo). The results of investigations have been published in [E1-17; E2-29, 37].

It stems from the obtained results that both applied laser methods are pertinent for visualisation and measurements of velocity fields in the models of electrofilters, particularly in investigations of the properties of flow structures induced by the presence of electrical field (secondary flow induced by ion current). Measurements of velocity field in the vicinity of group electrodes proved that the velocity of secondary flow is comparable with the mean working gas velocity. This may have a profound influence on the effectiveness of removal of dust particles from the electrofilter, particularly of hardly removable sub-micron particles.