

AUTOREFERAT

Spis treści

1. Imię i Nazwisko	2
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	2
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	2
Praca zawodowa	2
Pobyty naukowe za granicą	2
Nagrody	3
4. Przebieg pracy naukowej i zawodowej	3
A. Przetwarzanie i rozpoznawanie obrazów oraz analiza frontu falowego	3
B. Mikrotechnologia i głęboka litografia jonowa	5
C. Światłowody i kryształy fotoniczne	8
5. Osiągnięcie naukowe	9
5.1. Monografia	9
5.2. Wstęp do litografii jonowej	10
5.3. Osiągnięcia	12
5.3.1. Głęboka litografia protonowa w powietrzu	12
5.3.2. Wytwarzanie elementów o zmiennej grubości	13
5.3.3. Czujnik oparty na zjawisku rezonansu plazmonowego	14
5.3.4. Kontrola jakości	16
5.3.5. Modelowanie	17
6. Udział w projektach badawczych	18
Projekty zagraniczne	18
Projekty krajowe	19
7. Udział w konferencjach	20
8. Recenzje	20

1. Imię i Nazwisko

Rafał Andrzej Kasztelaniec
Zakład Optyki Informacyjnej
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 7, 02-097 Warszawa

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- czerwiec 1988 matura w XLII L.O. im. Marii Konopnickiej w Warszawie w klasie o profilu matematyczno-fizycznym.
- wrzesień 1993 magisterium w dziedzinie fizyki ze specjalnością optoelektronika uzyskane na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej po odbyciu pięcioletnich magisterskich studiów dziennych w latach 1988-1993; praca pt. „Realizacja dwuwymiarowej optycznej pamięci skojarzeniowej w oparciu o metody korelacyjne – symulacja komputerowa”; promotorem była prof. dr hab. Katarzyna Chałasińska-Macukow.
- 12 lutego 1998 stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki uzyskany na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej po odbyciu studiów doktoranckich w latach 1993-1997; praca pt. „Nieziennicza ze względu na przesunięcie i obrót obrazu wejściowego optoelektroniczna pamięć skojarzeniowa”; promotorem była prof. dr hab. Katarzyna Chałasińska-Macukow.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Praca zawodowa:

- grudzień 1998 - praca na wydziale Fizyki UW na stanowiskach:
- obecnie - adiunkt, z umową na czas określony (luty 1998 - wrzesień 2004)
 - urlop naukowy (w latach 2001-2003)
 - adiunkt, z umową na podstawie mianowania (od października 2004)
- październik 2001 - staż podoktorski:
- sierpień 2003 - Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) w Niemczech w ramach Marie Curie Scholarship

Pobyty naukowe za granicą:

- 1996 - 1996 Hiszpania, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Física, Optics Group, Individual Mobility Grant, Tempus, 6 miesięcy

2001 - 2003 Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) w Niemczech w ramach Marie Curie Scholarship, wzmiankowany wyżej staż podoktorski

2001 - 2003 Kilka wizyt przy akceleratorze typu Tandem w Erlangen (Niemcy)

Nagrody

2011 - Nagroda Rektora Uniwersytetu Warszawskiego

4. Przebieg pracy naukowej i zawodowej

Prowadzone przeze mnie prace naukowe dotyczą trzech grup tematycznych, z różnych dziedzin Fizyki, którymi zajmowałem się w różnych okresach począwszy od studiów doktoranckich. Należą do nich: przetwarzanie i rozpoznawanie obrazów oraz analiza frontu falowego, mikrotechnologia i głęboka litografia jonowa, światłowody i kryształy fotoniczne.

Każde z wymienionych wyżej zagadnień zostanie szczegółowo omówiony w kolejnych punktach autoreferatu.

W przewodzie habilitacyjnym prace ze wszystkich wymienionych tematów tworzą dorobek naukowy. Osiągnięciem naukowym opisanym szczegółowo w części 5 jest monografia pt. „Głęboka litografia jonowa”.

A. Przetwarzanie i rozpoznawanie obrazów oraz analiza frontu falowego

Tematyka związana z przetwarzaniem i rozpoznawaniem obrazów zajmowała mnie już w okresie pisania pracy magisterskiej. W czasie studiów doktoranckich (1993-1997) oraz do momentu wyjazdu na staż podoktorski (2001) stanowiła główne pole moich zainteresowań.

Pierwsze prace, realizowane w kraju na Politechnice Warszawskiej, Uniwersytecie Warszawskim oraz w ramach stażu na Autonomicznym Uniwersytecie w Barcelonie w Hiszpanii, prowadzone pod kierunkiem prof. dr hab. Katarzyną Chałasińską-Macukow i prof. Juana Camposa dotyczyły komputerów optycznych, optycznej realizacji sieci neuronowych a w szczególności pamięci skojarzeniowych. Pamięć ta realizowana była w układzie korelatora optycznego. Główny nacisk położono na wybór optymalnych filtrów optycznych, zapewniających jednocześnie dużą pojemność pamięci skojarzeniowej jak i jej odporność na różnego rodzaju zniekształcenia rozpoznawanych sygnałów takich jak: częściowe zasłonięcie, przesunięcie, obrót, zmianę skali oraz zaszumienie (A2-1, A3-1). W wyniku tych prac zaproponowałem nowy układ kaskadowego korelatora optycznego z kompozycyjnym filtrem holograficznym pełniącym rolę pamięci skojarzeniowej (A1-2), w którym możliwe było rozpoznanie i rekonstrukcja zapamiętanego oryginalnego sygnału optycznego na podstawie jego zniekształconej wersji (A1-3, A2-2). Jednym z elementów proponowanej pamięci skojarzeniowej był samoregulujący się optoelektroniczny układ obcinający (A1-1, A1-4), który został zaprojektowany i zbudowany na stole optycznym.

W latach późniejszych doświadczenie w przetwarzaniu obrazów i projektowaniu filtrów optycznych pozwoliło mi na stosowanie metod optycznych do analizy danych pochodzących z innych źródeł (A2-3, A2-4) oraz prowadzeniu szeregu prac magisterskich i licencjackich.

Ze względu na moje doświadczenie w przetwarzaniu obrazu zostałem zaproszony do wzięcia udziału w dwóch projektach prowadzonych przez Uniwersytecki Ośrodek Transferu Technologii, w których odpowiedzialny byłem za projektowanie i obsługę układów optycznych oraz zbieranie i analizę danych. Pierwszy projekt w ramach programu TECHNO Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej pt. „Opracowanie technologicznego prototypu urządzenia do wykrywania czerniaka skóry metodą fluorescencyjną” dotyczył budowy urządzenia do przesiewowego badania znamion skórnych pod kątem wykrywania czerniaka skóry. W wyniku prac powstało prototypowe urządzenie medyczne, które testowane było m. in. w Centrum Onkologii w Warszawie. Wstępne wyniki badań były na tyle pozytywne, że prawa do metody i urządzenia zostały wykupione przez zewnętrzną firmę bez możliwości publikacji wyników i wystąpień patentowych. Celem drugiego projektu była budowa układu optycznego oceniającego jakość włosów. Wynikiem prac było prototypowe urządzenie, które zostało przebadane na grupie kilkudziesięciu osób. Również tutaj projekt został całkowicie przejęty przez zewnętrzną firmę bez możliwości publikacji wyników i wystąpień patentowych.

Do zagadnień związanych z optycznym przetwarzaniem obrazów wróciłem w związku z badaniem i wizualizacją mikroelementów optycznych a w szczególności elementów, które wykonane zostały przy wykorzystaniu technologii głębokiej litografii protonowej. Bazując na idei filtru amplitudowego i korelatora optycznego zaproponowałem układ optyczny do szybkiej kontroli jakości elementów mikrooptycznych (A1-5) oraz badania zniekształcenia frontu falowego (A2-7). Dążąc do łączenia kilku interesujących mnie zagadnień wykorzystalem zaproponowaną metodę do badania jakości macierzy mikrosoczewek, które w prosty sposób mogą być wytwarzane w technologii głębokiej litografii protonowej (A1-8, A2-5, A2-6). W szczególności, do ilościowej oceny jakości soczewek, zaproponowałem wykorzystanie metody opartej na wielomianach Zernikego (A1-6) oraz modalnej metody Fouriera (A1-7).

Prace te wykonywane były m.in. w ramach projektu europejskiego NEMO (Network of Excellence for Micro-Optics) oraz grantu MNiSW (N505 408634) „Nowe urządzenie do pomiaru jakości elementów mikrooptycznych z wykorzystaniem filtru rzeczywistego zbudowanego w oparciu o pochodną połówkową funkcji przedmiotu”. Prace miały charakter zarówno symulacyjny jak i eksperymentalny. Jedną z wersji układu eksperymentalnego wykorzystana została w ramach projektu europejskiego NEMO podczas szkoły letniej - NEMO Summer School on Technologies and Applications of Microoptics - do nauki metod analizy frontu falowego. Układ zaprezentowany został także na Scientific Meeting również organizowanym w ramach projektu NEMO.

Artykuły z listy filadelfijskiej:

- A1-1. **R. Kasztelanic**, J. Campos, K. Chałasińska-Macukow, „Optoelectronic thresholder for pattern recognition with double feedback module”, Opt. Rev. Tom 4, Nr 4, 572-577 (1997).
- A1-2. **R. Kasztelanic**, J. Campos, K. Chałasińska-Macukow, „Shift-invariant optoelectronic associative memory by using a cascade of correlators”, Opt. Eng. Tom 39, Nr 4, 993 (2000).
- A1-3. **R. Kasztelanic**, „Correlation in analysis of composite input scene”, Opto-Electronics Review, Tom 9, Nr 3, 341-343 (2001).

- A1-4. **R. Kasztelanic**, M. Mrozowicz, „Optoelectronic module for thresholding and binarisation operation”, *Optica Applicata*, Tom 31, Nr 2, 467-478 (2001).
- A1-5. **R. Kasztelanic**, A. Sagan, „Semiderivative real filter for microoptical elements quality control”, *Optical Review*, Tom 16, Nr 3, 252-256, (2009).
- A1-6. **R. Kasztelanic**, „Amplitude filter and Zernike polynomial expansion method for quality control of microlens arrays”, *Applied Optics*, Tom 49, 5486-5492 (2010).
- A1-7. **R. Kasztelanic**, „Amplitude filter and fourier-based modal method for quality control of microlens Semiderivative Fourier”, *Optical Engineering*, Tom 50, Nr 4, 043601 (2011).

Rozdział w książce:

- A1-8. **R. Kasztelanic**, *Quality control of the microlenses array*, Applications and Experiences of Quality Control, InTech, 688 (2011), ISBN 978-953-307-288-3

Inne artykuły w czasopismach recenzowanych

- A2-1. **R. Kasztelanic**, K. Chałasińska-Macukow, „Optical associative memory with the minimum average correlation energy filter”, *Proc. SPIE*, 223-232 (1995).
- A2-2. **R. Kasztelanic**, K. Chałasińska-Macukow, J. Campos, „Correlation filters with carrier frequency for multi-class pattern recognition”, *Optics in computing - SPIE*, 199-202 (1998).
- A2-3. **R. Kasztelanic**, R. Kotyński, H. Thienpot, K. Chałasińska-Macukow, „Analysis of Multiparameter Optical Sensor Data with Composite Filtering Algorithms”, *Proc. SPIE*, 227-230 (2004).
- A2-4. **R. Kasztelanic**, R. Kotyński, „Analysis of data from optical sensors with composite filtering”, *Proc. SPIE*, Tom 5855, Optical Fibre Sensors Conference, 824-827 (2005).
- A2-5. **R. Kasztelanic**, W. Grabowski, A. Sagan, J. Liu, R. Buczyński, A. Waddie, M. Taghizadeh, „Semi-derivative real filter for quality measurement of microlenses array”, *Proc. SPIE*, Tom 6189, 618916 (2006).
- A2-6. **R. Kasztelanic**, „Amplitude filters in reconstructing the shape of microlenses”, *Proc. SPIE*, Tom 7746, 77461K (2010)
- A2-7. **R. Kasztelanic**, M. Barański, „Semi-derivative real filter for the measurement of the wavefront distortion”, *Optical Micro- and Nanometrology III*. Edited by Gorecki, Christophe; Asundi, Anand K.; Osten, Wolfgang. *Proc. SPIE*, Tom 7718, 77181I (2010).

Pozostałe publikacje:

- A3-1. **R. Kasztelanic**, J. Campos, K. Chałasińska-Macukow, „Filter design for the recognition layer of a shift-invariant optoelectronic associative memory”, *Technical digests Series Diffractive optics - EOS Topical Meeting*, 232-233, (1997).

B. Mikrotechnologia i głęboka litografia jonowa

Jednym z interesujących mnie zagadnień są układy mikrooptyczne oraz mikromechaniczne (MEMS) zarówno od strony technologicznej jak i od strony aplikacyjnej. Możliwość rozwijania tych zainteresowań podjąłem na stażu podoktorskiego w ramach stypendium Marie Curie w Instytucie Mikrotechniki (IMM) w Moguncji w Niemczech pod kierunkiem prof. Marii Kufner i prof. Stefana Kufnera.

Głównym moim zadaniem było projektowanie, wytwarzanie i kontrola jakości grubych masek litograficznych wytwarzanych w technologii LIGA (akronim od niemieckich słów: litografia, galwanotechnika, kształtowanie) w ramach projektu europejskiego EuNITT (European Network of Ion Track Technology). Projektowane przeze mnie grube maski litograficzne wykonane były ze złota i miały grubość od kilkudziesięciu do 250 μm . Maski wykorzystywane były następnie do naświetlania polimerowej próbki wiązką jonów lub protonów w celu wytworzenia kanałów o możliwie jak najmniejszej średnicy i jednocześnie jak największej długości. Udało się w ten sposób uzyskać kanały o stosunku głębokości do średnicy na poziomie 100. Tak przygotowane próbki w następnym etapie technologicznym, realizowanym przez inne zespoły, służyły do wytworzenia wielowarstwowych struktur ferromagnetyk-diamagnetyk, które miały być wykorzystywane do stworzenia urządzenia bazującego na zjawisku gigantycznego magnetooporu (GMR). Podejście takie okazało się bardzo trudne w realizacji od strony technologicznej. Kontakty elektryczne uzyskiwano maksymalnie dla 10% otworów. Ostatecznie pożądane struktury udało się uzyskać innymi metodami. W rezultacie ta część projektu nie zakończyła się publikacjami.

Równoległe do opisanych wyżej zagadnień wraz z prof. Marią Kufner i prof. Stefanem Kufnerem rozpoczęliśmy prace nad budową układu do litografii protonowej. Po trzech miesiącach współpracy oboje moi opiekunowie zostali zwolnieni z pracy, a wszelkie dodatkowe środki finansowe przeznaczone na ten projekt zostały obcięte. Nie dysponując żadnym wsparciem, samodzielnie, przez pierwsze 15 miesięcy zaprojektowałem, zbudowałem, oprogramowałem i uruchomiłem układ do głębokiej litografii protonowej. Ze względu na skromne środki nie powstała komora próżniowa i układ eksperymentalny działał w powietrzu. Był to pierwszy i jedyny w pełni funkcjonalny układ litograficzny do głębokiej litografii protonowej w powietrzu. Został on zainstalowany przy akceleratorze protonowym typu tandem na Uniwersytecie w Erlangen w Niemczech (B2-2, B2-6). Brak środków finansowych bardzo ograniczał możliwości wytwarzania mikroelementów. Z tego względu nie powstała komora do wytwarzania mikrosoczewek wykorzystująca zjawisko puchnięcia polimerów, do czego głęboka litografia protonowa jest często wykorzystywana. Zredukowane do minimum zostały możliwości powielania elementów oraz ich dalszej obróbki jak np. powlekanie cienkimi warstwami. Jediną dostępną techniką było trawienie mokre. Z tego też względu w celu zaprezentowania możliwości urządzenia zaproponowałem różne modyfikacje sposobu naświetlania próbki polimerowej w celu kontroli głębokości tworzonych struktur (B1-1, B2-4). Stworzyłem też oprogramowania do symulacji pełnego procesu głębokiej litografii protonowej począwszy od etapu naświetlenia przez procesy trawienia i replikacji po działający gotowy element.

Samodzielna praca, ograniczony dostęp do akceleratora oraz długotrwały proces kalibracji urządzenia i optymalizacji procesów naświetlania i trawienia spowodował, że udało mi się wykonać tylko jeden w pełni funkcjonalny element mikrooptyczny. Był nim czujnik chemiczny oparty na zjawisku powierzchniowego rezonansu plazmonowego (SPR) (B1-2). Na tym samym zjawisku oparto budowę innego czujnika chemicznego również wykonanego w technologii głębokiej litografii protonowej we współpracy z Wolnym Uniwersytetem w Brukseli (B3-5).

Zainteresowanie tematyką mikrotechnologiczną zaowocowało udziałem w pracach nad projektowaniem, modelowaniem i budową układu wyświetlacza membranowego opartego na technologii typu MEMS (B2-1, B3-1, B3-4).

Szansą na realizację innych pomysłów związanych z mikrotechnologią było uczestnictwo w projekcie Europejskim NEMO (Network of Excellence for Micro-Optics) w zespole zajmującym się elementami typu MEMS. Brałem udział w kilku projektach. Efektem pracy są publikacje konferencyjne dotyczące projektów takich jak przełącznik optyczny oparty na światłowodach polimerowych (B3-3) oraz przestrajalna siatka Bragga (B2-3, B3-2).

Rozwijając swoje zainteresowania technologią wytwarzania mikroelementów zajmowałem się również modelowaniem różnego rodzaju procesów technologicznych. Jednym z nich jest proces trawienia. Modelowanie związanych z tym zjawisk zawarte zostało w pracach (B1-1, B1-3, B2-4, B2-5).

Łącznikiem między tematami związanymi z mikrotechnologią i litografią a optycznym przetwarzaniem obrazów była budowa układu optycznego do szybkiej kontroli jakości elementów mikrooptycznych (A1-5) a w szczególności macierzy mikrosoczewek wytwarzanych w technologii głębokiej litografii protonowej (A1-6, A1-7, A1-8, A2-5, A2-6).

Artykuły z listy filadelfijskiej:

- B1-1. **R. Kasztelanic**, „Multilevel structures in deep proton lithography”, Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS 07(01), 013006, (2008).
- B1-2. **R. Kasztelanic**, „Surface plasmon resonance sensors - novel architecture and improvements”, Optica Applicata, Tom 41, 145-155 (2011).
- B1-3. M. Baranski, J. Albero, **R. Kasztelanic**, C. Gorecki, „A numerical model of wet isotropic etching of silicon molds for microlenses fabrication”, J. Electrochem. Soc., Tom 158, Nr 11, D681-D688 (2011).

Inne artykuły w czasopismach recenzowanych

- B2-1. R. Buczyński, **R. Kasztelanic**, S. Kufner, A. Sagan, I. Frese, T. Klotzbücher, T. Szoplik, „Polymer-based pixel matrix display in MOEMS technology”, Proc. SPIE Tom 5455, 36-43 (2004).
- B2-2. **R. Kasztelanic**, „Deep proton lithography outside the vacuum setup”, Proc. SPIE, Tom 5948, 1F (2005).
- B2-3. **R. Kasztelanic**, A. Zychewicz, R. Buczyński, „Tunable Bragg grating based on MOEMS technology”, Proc. SPIE 6186, 61860Y (2006).
- B2-4. **R. Kasztelanic**, „2.5 Dimension structures in deep proton lithography”, Proc. of SPIE, Tom 6185, 442-449 (2006).
- B2-5. M. Baranski, **R. Kasztelanic**, J. Albero, Ł. Nieradko, Ch. Gorecki, „Level set method for microfabrication simulations”, Proc. SPIE, Tom 7716, 77161W (2010).
- B2-6. **R. Kasztelanic**, „Adapting deep proton lithography to air”, SPIE Newsroom: Micro/Nano Lithography. (<http://spie.org/x8697.xml>)

Pozostałe publikacje:

- B3-1. **R. Kasztelanic**, A. Sagan, R. Buczyński, „Modeling of microdisplay with movable membrane in MOEMS technology”, Proc. of XIV Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Nitra (2004).
- B3-2. R. Buczyński, A. Zychewicz, W. Saj and **R. Kasztelanic**, „Tunable MOEMS Bragg grating for wavelength filtering”, Proc. of EOS Topical Meeting Diffr. Optics. 2005, 145-146 (2005).

- B3-3. J. Nowosielski, H. Suyal, A. McCarthy, W. Grabowski, **R. Kasztelanic**, R. Buczyński, M. Taghizadeh, „Optical switch based on polymer waveguides”, Proceedings of X Scientific Conference Optical Fibers and Their Applications, 373-378 (2006).
- B3-4. **R. Kasztelanic**, A. Sagan, R. Buczynski, „Modeling and optimization of microdisplay in MOEMS technology”, EOS Topical Meeting on Diffractive Optics, 178 (2007).
- B3-5. **R. Kasztelanic**, R. Buczynski, „Miniaturised fiber surface plasmon resonance detector with a microprism”, EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2007, 180 (2007).

C. Światłowody i kryształy foniczne

W ostatnim czasie część moich zainteresowań zwróciło się w kierunku światłowodów i kryształów fonicznych, co korespondowało z nowym kierunkiem badań prowadzonych w Zakładzie Optyki Informacyjnej i Fotoniki, którego jestem pracownikiem.

Główne prace związane były przede wszystkim z modelowaniem, projektowaniem i charakteryzacją różnego rodzaju struktur fonicznych przy wykorzystaniu metody elementów skończonych (FEM). W przypadku światłowodów fonicznych zajmowałem się wyznaczaniem związków dyspersyjnych, pól modowych oraz stałych propagacji (C1-1, C1-3, C2-3, C3-1). Modelowałem również wielowarstwowe struktury dielektryczne oraz metalowo-dielektryczne pod kątem wykorzystania ich jako układy ogniskujące (C2-2) i przezroczyste metale.

Zajmowałem się również badaniem i modelowaniem efektów nieliniowych w światłowodach fonicznych a w szczególności zajmowałem się zjawiskiem generacji supercontinuum (C1-2, C1-4, C2-1).

Artykuły z listy filadelfijskiej:

- C1-1. R. Buczynski, D. Pysz, R. Stepien, **R. Kasztelanic**, I. Kujawa, M. Franczyk, A. Filipkowski, A.J. Waddie, M.R. Taghizadeh, „Dispersion management in nonlinear photonic crystal fibres with nanostructured core”, J. Europ. Opt. Soc. Rap. Public. 11038, Tom 6 (2011).
- C1-2. R. Buczyński, D. Pysz, R. Stępień, A.J. Waddie, I. Kujawa, **R. Kasztelanic**, M. Franczyk, M.R. Taghizadeh, „Supercontinuum generation in photonic crystal fibers with nanoporous core made of soft Glass”, Laser Phys. Lett., Tom 8, Nr 6, 443-448 (2011).
- C1-3. H.T. Bookey, R. Buczyński, A. Wischnewski, D. Pysz, **R. Kasztelanic**, A.J. Waddie, R. Stępień, A.K. Kar, M.R. Taghizadeh, „Near infrared transmission in dual core lead silicate photonic crystal fibres”, Optica Applicata, (2012).
- C1-4. R. Buczynski, I. Kujawa, R. Kasztelanic, D. Pysz, K. Borzycki, F. Berghmans, H. Thienpont, R. Stepien, „Supercontinuum generation in all-solid photonic crystal fiber with low index core”, Laser Physics, Tom 22, Nr 4, 781-790 (2012).

Inne artykuły w czasopismach recenzowanych

- C2-1. R. Buczyński, J. Korzeniowski, D. Pysz, I. Kujawa, T. Martynkien, **R. Kasztelanic**, T. Nasilowski, F. Berghman, H. Thienpont, R. Stępień, „Broadband supercontinuum generation with photonic crystal fibers made of soft Glass”, Proc. SPIE, Tom 6990, 69900S, (2008).
- C2-2. **R. Kasztelanic**, R. Kotyński, „Finite element analysis of waveguide mode coupling through a sub-structured metallic flat lens”, Proc. SPIE, Tom 6987, 698727 (2008).
- C2-3. D. Pysz, R. Stępień, I. Kujawa, **R. Kasztelanic**, T. Martynkien, F. Berghmans, H. Thienpont, R. Buczyński, „Development of silicate hollow core photonic crystal fiber”, Phot. Lett of Poland, Tom 2, Nr 1, 7-9, (2010).

Pozostałe publikacje:

- C3-1. R. Buczyński, D. Pysz, T. Nasilowski, I. Kujawa, R. Kotyński, **R. Kasztelanic**, F. Berghman, H. Thienpont, R. Stępień, „Characterisation of birefringence in elliptical core photonic crystal fiber”, EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2007, 142 (2007).

5. Osiągnięcie naukowe

autor : Rafał Kasztelanic
tytuł publikacji : Głęboka litografia jonowa
rok wydania : 2012
ISBN : 978-83-7798-029-3

Podstawowym osiągnięciem naukowym będącym podstawą wniosku habilitacyjnego jest monografia dotycząca zagadnień związanych z głęboką litografią jonową. Została ona oparta na 14 recenzowanych pracach: 6 artykułach z listy filadelfijskiej (A1-5,6,7, B1-1,2,3), 7 innych artykułach recenzowanych (A2-5,6,7, B2-2,4,5,6) oraz rozdziale w książce (A1-8). Poświęcone były one zagadnieniom związanym z większością etapów jakie składają się na proces litografii jonowej. Począwszy od budowy układu naświetlającego, przez obróbkę chemiczną aż po gotowy element wraz z kontrolą jego jakości. Monografia w postaci książki systematyzuje wiedzę dotyczącą litografii jonowej. Uzupełniona o treści i zagadnienia, które nie znalazły się w artykułach daje możliwie pełny opis technologii jaką jest głęboka litografia jonowa.

5.1. Monografia

Podstawą monografii jest wiedza zdobyta przez autora, który samodzielnie zaprojektował, zbudował, oprogramował i uruchomił układ do głębokiej litografii protonowej w powietrzu, który był pierwszym tego typu układem eksperymentalnym. Przy okazji poznając od strony teoretycznej, konstrukcyjnej, eksperymentalnej, całość zagadnień związanych z funkcjonowaniem tego typu urządzeń, autor stworzył również oprogramowania do symulacji pełnego procesu głębokiej litografii protonowej od naświetlenia po gotowy element. Dlatego też w monografii przedstawiona została możliwie wyczerpująca lista zagadnień związanych z technologią głębokiej litografii jonowej. Przeanalizowano w niej pełną drogę, od projektu po końcowy produkt. Ogólnie opisano metody przyspieszania jonów. Skupiono się na różnych metodach naświetlania stosowanych w litografii jonowej, a w szczególności na litografii

protonowej oraz na opisie oddziaływania jonów z naświetlanym materiałem. Opisano poszczególne elementy układu naświetlającego, a także przykładowe układy do litografii protonowej działające w wybranych ośrodkach na świecie. Przedstawiono zagadnienia związane z trawieniem naświetlonych próbek, zarówno od strony zachodzących wówczas zjawisk fizycznych i chemicznych, jak i od strony praktyki laboratoryjnej. Opisano metodę puchnięcia polimerów, wykorzystywaną m.in. do wytwarzania mikrosoczewek refrakcyjnych. Rozpatrzono również zagadnienia związane z powielaniem elementów wytworzonych technikami głębokiej litografii jonowej. Przedstawiono metody pomiarowe niezbędne do prawidłowego przeprowadzenia procesów naświetlania i trawienia oraz wykorzystywane przy badaniu jakości wytwarzanych elementów. Osobną część pracy zajmuje zagadnienie związane z modelowaniem różnych procesów i zjawisk występujących w litografii jonowej, począwszy od naświetlania przez trawienie i puchnięcie po replikację. Na zakończenie przedstawiono przykładowe zastosowania techniki głębokiej litografii jonowej do produkcji mikroelementów a w szczególności elementów mikrooptycznych o grubościach większych niż 100 μm .

Układ eksperymentalny został zbudowany i zainstalowany przy akceleratorze protonów typu tandem na Uniwersytecie w Erlangen w Niemczech (5.3.1) (B2-2, B2-6). Przeprowadzone eksperymenty pokazały, że w układzie do głębokiej litografii protonowej w powietrzu możliwe jest wykonanie w pełni funkcjonalnego mikroelementu (5.3.3).

Wkład autora do rozwoju technologii litografii jonowej polegał na propozycji wyjściu z wiązką protonów poza układ próżniowy (5.3.1) (B2-2, B2-6). Dodatkowo Autor zaproponował modyfikację sposobu naświetlania wiązką protonów tak aby w wyniku trawienia bez dodatkowych procesów wytwarzać elementy o różnej lub zmiennej grubości (5.3.2) (B1-1, B2-4). Zaproponował nową architekturę czujnika chemicznego opartego na zjawisku powierzchniowego rezonansu plazmonowego (SPR) (5.3.3) (B1-2). Zaproponował nową metodę do kontroli jakości elementów wykonanych m. in. w technologii głębokiej litografii jonowej (5.3.4) (A1-5,6,7, A2-6,7). Te podstawowe prace związane z budową i wykorzystaniem układu litografii jonowej zostały uzupełnione o symulacje niektórych procesów technologicznych, a w szczególności procesu trawienia (5.3.5) (B1-3, B2-5).

5.2. Wstęp do litografii jonowej

Zagadnienie głębokiej litografii jonowej wiąże się z dążeniem do miniaturyzacji wytwarzanych elementów. Już od kilkudziesięciu lat do ważniejszych kryteriów postępu w dziedzinie technologii należy zmniejszanie rozmiarów produkowanych elementów. Wymaga to udoskonalania starych i wprowadzania nowych technologii. Jedną z najważniejszych technik służących do wykonywania mikro- i nanoelementów jest litografia. Choć skrajna miniaturyzacja nie jest jedynym kierunkiem rozwoju i wyznacznikiem postępu, trend ten pojawił się w ostatnich latach w wielu dziedzinach, takich jak: mechanika, optyka, chemia oraz biologia. Produkowane są miniaturowe membrany, zawory, siłowniki, silniki, kanały, żyroskopy, czujniki przyspieszenia, złącza, soczewki i wiele innych urządzeń.

Produkcja takich elementów wymaga nowego podejścia. O ile metody litograficzne wykorzystywane przy produkcji układów elektronicznych są określane jako tzw. techniki płaskie, gdyż grubość wytwarzanych elementów jest niewielka w porównaniu z ich wymiarami poprzecznymi, to do produkcji np. elementów mikromechanicznych lub

mikrooptycznych potrzebna jest technologia dająca możliwość wytwarzania elementów grubych. Jedną z metod produkcji takich elementów jest litografia w świetle ultrafioletowym lub litografia rentgenowska. Inną możliwością jest wykorzystanie litografii elektronowej oraz trawienia wspomaganego plazmą. Kolejnym krokiem, umożliwiającym tworzenie struktur o grubościach przekraczających 100 μm jest właśnie litografia jonowa, a w szczególności litografia wiązką protonów, które to techniki są tematem przedstawionej monografii. Niektóre cechy litografii jonowej, takie jak: określona głębokość penetracji, rozkład gęstości deponowanej energii wewnątrz próbki, możliwość dokładnego sterowania głębokością penetracji oraz powstawianie zmian w materiale już w wyniku oddziaływania pojedynczego jonu, wyróżniają tę technikę na tle innych i sprawiają, że może ona znaleźć wiele zastosowań.

Do najważniejszych cech głębokiej litografii jonowej zaliczyć należy możliwość tworzenia struktur o dużym stosunku wysokości lub głębokości do rozmiaru poprzecznego dochodzącego do 10000. Z praktycznego punktu widzenia interesująco wygląda możliwość budowy i wykorzystania wielu różnych układów litograficznych, opartych na wysokoenergetycznej wiązce jonów. Można stosować technologię jednostopniową, gdzie wiązka lokalnie modyfikuje właściwości chemiczne i fizyczne materiału próbki, można również stosować techniki dwustopniowe, gdzie po etapie naświetlenia następuje proces trawienia. Co więcej, możliwe jest równoległe wykorzystanie zjawiska puchnięcia. Daje to możliwość zarówno usuwania części naświetlonego materiału jak i zmianę jego objętości. Przy naświetlaniu można wykorzystywać zarówno wiązkę jonów, skupioną wiązkę jonów, jak i pojedyncze jony.

Naświetlanie najczęściej wykonywane jest w układzie próżniowym, ale możliwe jest także wyjście z wiązką jonów poza ten układ. Zwiększenie możliwości układu można osiągnąć przez pochylanie próbki lub przez odchyłanie wiązki przy wykorzystaniu faktu, że jony niosą ładunek elektryczny. Kolejną atrakcyjną cechą jest możliwość wykorzystywania różnych jonów, co pozwala zarówno na tworzenie struktur o skomplikowanych kształtach, jak i równoczesne domieszkowanie próbki.

Elementy wykonane przy wykorzystaniu głębokiej litografii jonowej charakteryzują się dużą gładkością powierzchni i dokładnością wykonania. Dzięki temu mogą być wykorzystywane w układach optycznych, układach przepływowych oraz układach typu μTAS (*Micro Total Analysis Systems*). Litografię jonową cechuje także różnorodność materiałów, które można poddawać obróbce. Należą do nich obok tradycyjnych materiałów, takich jak krzem czy polimery, także materiały odporne na promieniowanie elektromagnetyczne i odporne chemicznie, jak np. diament.

Głęboka litografia jonowa jest kompatybilna z innymi technikami głębokiej litografii, co znaczy, że elementy wykonane przy jej użyciu mogą być powielane w standardowy sposób, znany z innych technik litograficznych. Ze względu na stosunkowo krótką i nieskomplikowaną drogę od pomysłu do gotowego układu litografię jonową zalicza się do technik szybkiego prototypowania, czyli szybkiego wytwarzania prototypów w celu znalezienia optymalnego rozwiązania.

5.3. Osiągnięcia

5.3.1. Głęboka litografia protonowa w powietrzu

Wszystkie układy do głębokiej litografii protonowej działają w próżni. W układach tych wiązka przyspieszonych protonów, po wcześniejszym uformowaniu przez maskę, naświetla próbkę. Działanie układu w próżni ma jednak swoje wady. Do najważniejszych należą: ograniczenie rozmiarów naświetlanej próbki, długi czas niezbędny do wymiany naświetlanych próbek oraz konieczność wykorzystania urządzeń przystosowanych do pracy w próżni.

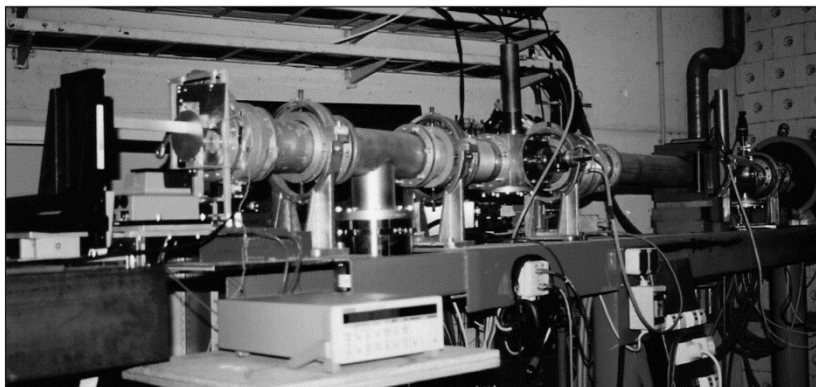
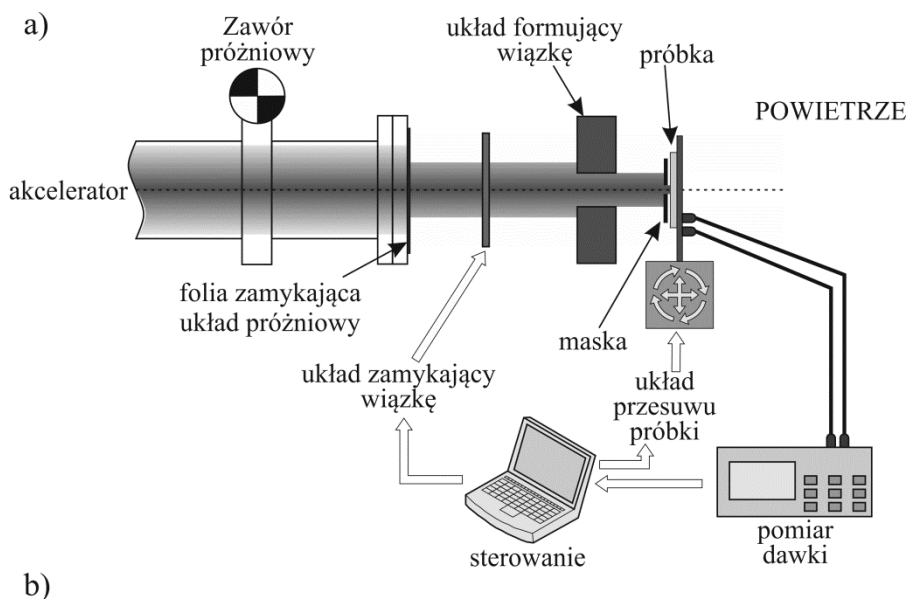
Ograniczenia te zmotywowały mnie do zaproponowania nowego układu do głębokiej litografii protonowej działającego w powietrzu. Rezygnacja z układu próżniowego ma wiele zalet. Do podstawowych należy łatwość i szybkość obsługi, co związane jest ze swobodnym dostępem do naświetlanych elementów oraz brakiem konieczności uzyskiwania wysokiej próżni w komorze gdzie przebiega proces naświetlania. Dodatkowo do sterowania procesem naświetlania można wykorzystać prostsze w obsłudze i konserwacji elementy mechaniczne, nieprzystosowane do pracy w próżni. W rezultacie technologia jest mniej czasochłonna i przez to tańsza.

Naświetlanie próbki poza układem próżniowym powoduje nieznaczne pogorszenie jakości i zmianę parametrów wiązki. Jednak jak wykazał autor, możliwe jest ograniczenie tych niekorzystnych zjawisk i przywrócenie pełnej funkcjonalności wiązki. Wymusza to jednak konieczność dodania kilku nowych elementów do konwencjonalnego układu litograficznego działającego w próżni.

Pierwszym elementem układu jest system pozwalający na przejście wysokoenergetycznych protonów z układu próżniowego do powietrza. W tym celu na końcu drogi protonów w układzie próżniowym umieszcza się aluminiową maskę. W masce znajduje się otwór o średnicy 1 mm, który jest zabezpieczony cienką folią. Folia ta zamyka układ próżniowy i jednocześnie pozwala na przejście wiązki protonów do powietrza, możliwie w małym stopniu zmieniając jej energię i inne parametry. Oprócz folii w układzie zastosowano dwie lub trzy inne maski, których zadaniem jest poprawa właściwości wiązki. Pozostałe elementy układu są takie same jak w klasycznych układach litografii protonowej w próżni. Zaletą takiego podejścia jest brak ograniczeń na rodzaj naświetlanych materiałów i ich wielkość.

Proponowany układ działa według następującego schematu. Akcelerator wytwarza wiązkę protonów, które przechodząc przez cienką folię wydostają się na zewnątrz układu próżniowego. Po przebyciu kilku milimetrów wiązka przechodzi przez maskę, której zadaniem jest wstępne ograniczenie jej szerokości. Kolejnym elementem jest sterowany przełącznik, który blokuje lub odblokowuje wiązkę. Zadaniem kolejnej maski jest ostateczne uformowanie wiązki protonów. Umieszczona jest ona na ruchomym stoliku i składa się z kilku otworów o różnej średnicy. Wybór konkretnego otworu uzależniony jest od specyfiki naświetlanego elementu. Kolejnym elementem układu jest naświetlana próbka. Umieszczona jest ona na metalowej płytce pozwalającej na pomiar, za pomocą pikoamperometru, dawki zdeponowanej w próbce w wyniku naświetlania. Próbka i płytka umieszczone są na stoliku sterowanym komputerowo, który zapewnia dowolny przesuw w płaszczyźnie prostopadłej do wiązki protonów. Cały układ jest sterowany jest za pomocą komputera, który decyduje o

przerwaniu lub kontynuowaniu naświetlania oraz pozwala na ustawienie wszystkich ruchomych elementów.



Rysunek 1. Układ do głębokiej litografii protonowej w powietrzu: a) schemat układu, b) realizacja eksperymentalna

5.3.2. Wytwarzanie elementów o zmiennej grubości

Zaproponowałem modyfikację sposobu naświetlania wiązką protonów tak, aby po procesie trawienia możliwe było uzyskanie elementów o różnej lub płynnie zmieniającej się grubości (B1-1, B2-4).

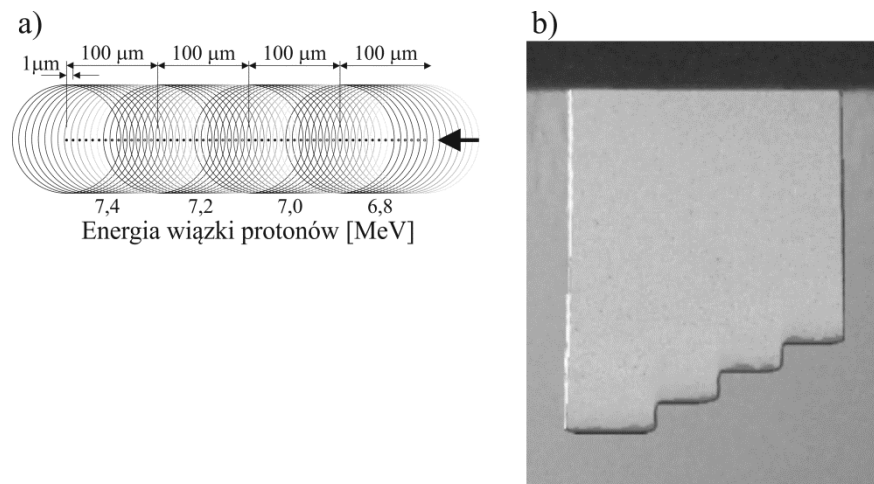
Jakość wytwarzanych elementów, ich grubość i gładkość powierzchni w dużej mierze zależy od energii protonów i dawek zdeponowanych w próbce oraz od przebiegu procesu trawienia. Dlatego też dokładność pomiaru dawki odgrywa szczególną rolę w litografii protonowej. Jest to tym bardziej ważne biorąc pod uwagę zmienną w czasie liczbę protonów produkowanych przez akcelerator.

W klasycznym układzie do głębokiej litografii protonowej nie stosuje się zmiany energii protonów. Wiązka protonów o energii kilku MeV przechodzi przez maskę z otworem i naświetla próbkę. Grubość próbki i energia protonów dobierane są w taki sposób, że tylko część energii zdeponowana jest w objętości próbki. Spowolnione protony opuszczają próbkę i są pochłaniane w metalowej płytce, w której indukują prąd elektryczny o natężeniu kilku nA.

Prąd ten jest proporcjonalny do dawki energii zdeponowanej przez protony w naświetlanej próbce.

Ze względu na taki sposób pomiaru, wiązka protonów działa jak nóż, który wycina w próbce zadany kształt. Dlatego też wytwarzane w ten sposób elementy są dwuwymiarowe. Ich dolne i górne powierzchnie są do siebie równoległe a cięcie odbywa się w kierunku prostopadłym do tych powierzchni. Aby uzyskać elementy o bardziej skomplikowanym kształcie konieczna jest zmiana parametrów wiązki protonów. Kontrolowana i szybka zmiana energii protonów w wiązce jest trudna do osiągnięcia. Dlatego zaproponowałem nową metodę jak zmienić dawkę energii deponowanej przez wiązkę protonów w obrębie próbki. Wymagało to ponownej zmiany w układzie litograficznym i wprowadzenia pomiaru dawki przed naświetlaną próbką.

Po tej zmianie układ działa według następującego schematu. Protony przyspieszone w akceleratorze opuszczają układ próżniowy przez maskę zabezpieczoną cienką folią. Po kilku milimetrach szerokość wiązki ograniczana jest za pomocą kolejnej maski. Następnym elementem jest układ pozwalający na włączanie i wyłączanie wiązki. Kolejnym elementem jest układ dwóch masek umieszczonych na ruchomym stole, które zapewniają formowanie wiązki i pomiar dawki. Rolą pierwszej maski jest ograniczenie rozmiaru wiązki. Rolą drugiej jest ostateczne uformowanie kształtu i rozmiaru wiązki oraz pomiar ładunku. Znając wielkość otworów w obu maskach można obliczyć powierzchnię, na której absorbowane będą protony na drugiej z masek. Dodatkowo, znając kształt wiązki protonów można oszacować jaka część protonów dotarła do naświetlanej próbki.



Rysunek 2. Element o kilku poziomach grubości: a) schemat procesu naświetlania, b) wykonany element

5.3.3. Czujnik oparty na zjawisku rezonansu plazmonowego

Funkcjonalność układu głębokiej litografii protonowej w powietrzu została potwierdzona dzięki wytworzeniu czujnika chemicznego opartego na zjawisku powierzchniowego rezonansu plazmonowego (SPR) (B1-2).

Czujniki optyczne oparte są na wielu różnych zjawiskach zachodzących podczas oddziaływania światła z materią. Jednym z takich zjawisk jest powierzchniowy rezonans plazmonowy. Zachodzi on, gdy spełnione są warunki rezonansu dla fali elektromagnetycznej rozchodzącej się wzdłuż granicy metal-dielektryk. Ze względu na fakt, że rezonans występuje

jedynie dla wąskiego zakresu parametrów, czujniki oparte na tym zjawisku charakteryzują się wysoką czułością. W przypadku rezonansu plazmonowego głównym czynnikiem wpływającym na warunki rezonansu jest współczynnik załamania światła badanej substancji. Aby mierzyć inne parametry takie jak np. stężenie czy aktywność biologiczną należy tak zmodyfikować czujnik, aby zmiana mierzonego parametru związana była ze zmianą współczynnika załamania światła.

Zaproponowałem kilka wersji czujnika opartego na zjawisku SPR. Głowica pomiarowa pozwala na pomiar współczynnika załamania zarówno w zależności od kąta padania światła jak i od długości fali bez jej modyfikacji. Układ działa w konfiguracji gdzie plazmony powierzchniowe wzbudzone były w układzie z całkowitym wewnętrznym odbiciem.

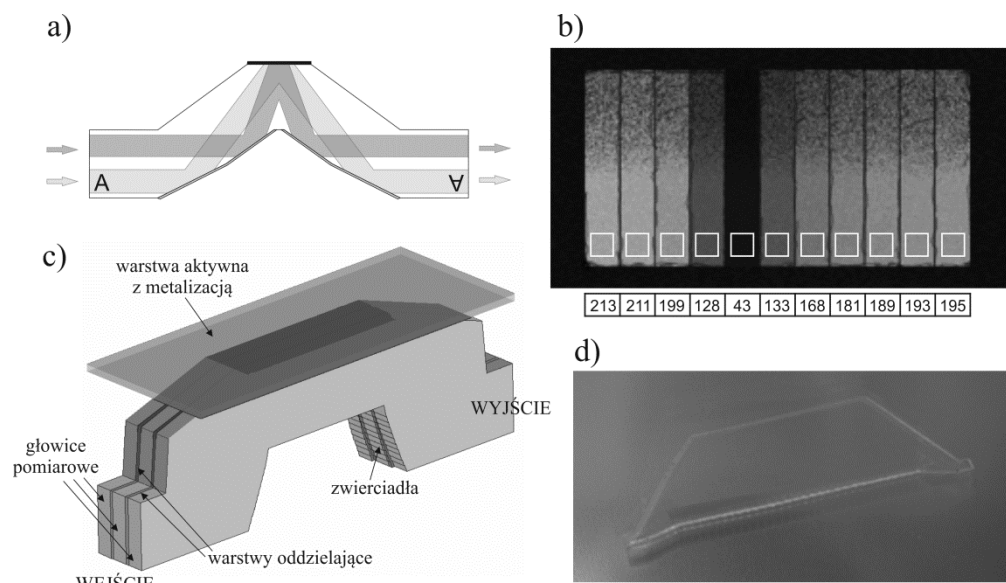
W jednej z proponowanych konfiguracji, która została zrealizowana eksperymentalnie, pierwszy system lusterek dzieli wiązkę światła na kilka części i każdą z nich kieruje pod innym kątem na powierzchnię gdzie zachodzi rezonans plazmonowy. Drugi, symetrycznie ustawiony, układ lusterek tworzy wiązkę świetlną na wyjściu układu pomiarowego. Zaletą takiej konfiguracji jest płaska granica metal-dielektryk, dzięki czemu możliwe jest wykorzystanie wymiennych elementów. Dodatkowo w układzie wszystkie odbicia zachodzą w warunkach całkowitego wewnętrznego odbicia, co nie wymaga nakładania warstw metalicznych i znacznie upraszcza proces wytwarzania elementu.

Możliwe jest również zwiększenie rozdzielczości układu bez zmiany rozmiaru głowicy SPR i wielkości pojedynczego kanału a przez zwiększenie liczby kanałów. Można tego dokonać poprzez równoległe łączenie kilku głowic SPR, z których każda zawiera kanały nachylone pod innym kątem. Problem przenikania się sygnałów z leżących obok sieci głowic można wyeliminować dzięki umieszczeniu między głowicami warstwy odbijającej lub pochłaniającej światło. Ponadto, konfiguracja równoległa pozwala na kompensację wpływu temperatury, co jest niezwykle ważne przy pomiarach w zakresie dużych rozdzielczości.

Głowica SPR została wykonana przy wykorzystaniu głębokiej litografii protonowej w powietrzu. Wykorzystano wiązkę protonów o energii 7,4 MeV, którą teoretycznie można użyć do tworzenia elementów o grubości ponad 500 μm . Jednak ze względu na kształt ścian bocznych gdzie zachodzi rezonans plazmonowy, grubość czujnika została zmniejszona do 250 mikrometrów. Wiązka protonów, uformowana dzięki masce z otworem kołowym o średnicy 50 μm , wycięła pożądaną kształt czujnika z folii polimerowej o grubości 250 μm . Ten etap produkcji zakończył się obróbką chemiczną polegającą na mokrym trawieniu naświetlonej próbki. Wielkość czujnika 16x5 mm została wybrana ze względu na ograniczenia zastosowanej technologii, jak również na konieczność dalszego ręcznego justowania układu pomiarowego. W następnym kroku powierzchnia, na której zachodzić miał rezonans plazmonowy pokryta została 2 nm warstwą chromu oraz 50 nm warstwą srebra.

Tak wykonana głowica SPR umieszczona została w układzie pomiarowym składającym się z lasera He-Ne o mocy 3 mW, dwóch polaryzatorów i kamery o 8-bitowej dynamice. Wiązka lasera nie była specjalnie formowana. Przybliżoną falę płaską uzyskano dzięki umieszczeniu lasera w odległości 2 m od głowicy pomiarowej. Pomiaru dokonywano przez umieszczenie kropli badanej substancji na głowicy SPR i rejestrację obrazu. Średnia wartość natężenia światła z każdego z kanałów była podstawą do ustalenia wartości mierzonego współczynnika światła. Błąd oszacowano na około 7×10^{-5} dla pojedynczego pomiaru. Jednak błąd ten może

być znacznie zredukowany przez zastosowanie konfiguracji równoległej lub przez wykorzystanie kilku długości światła.



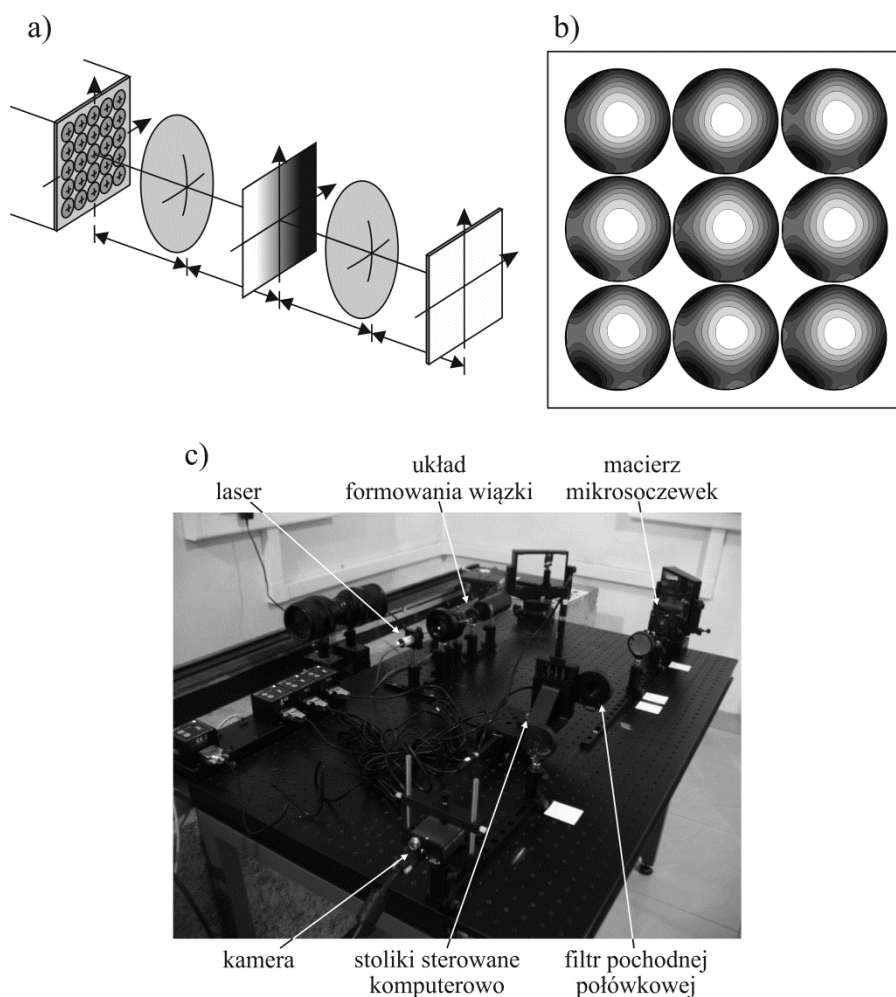
Rysunek 3. Czujnik SPR: a) schemat czujnika, b) przykład wyników eksperymentalnych, c) propozycja układu do pomiarów równoległych, d) element wykonany przy wykorzystaniu techniki głębokiej litografii protonowej w powietrzu

5.3.4. Kontrola jakości

Zaproponowałem również nową metodę pomiaru i kontroli jakości elementów optycznych, a w szczególności mikrosoczewek, które mogą być wykonane przy wykorzystaniu techniki głębokiej litografii protonowej (A1-5, 6, 7, A2-6, 7). Podstawą zaproponowanej metody jest wykorzystanie filtra amplitudowego i optycznego korelatora 4f.

Badany element, np. macierz mikrosoczewek umieszczana jest w płaszczyźnie wejściowej korelatora. Zniekształcony front falowy przechodzi przez pierwszą z soczewek. W rezultacie w płaszczyźnie ogniskowej soczewki uzyskuje się rozkład częstości przestrzennych badanego obiektu. Widmo to jest modyfikowane przez filtr amplitudowy i w wyniku kolejnej transformacji przez drugą soczewkę, w płaszczyźnie wyjściowej korelatora uzyskuje się obraz z zakodowaną informacją o kształcie lub fazie badanych elementów. Szczegółowa mapa kształtu zależy od transmitancji amplitudowej zastosowanych filtrów amplitudowych. W proponowanym układzie wykorzystałem dwa rodzaje filtrów: liniowy oraz pierwiastkowy.

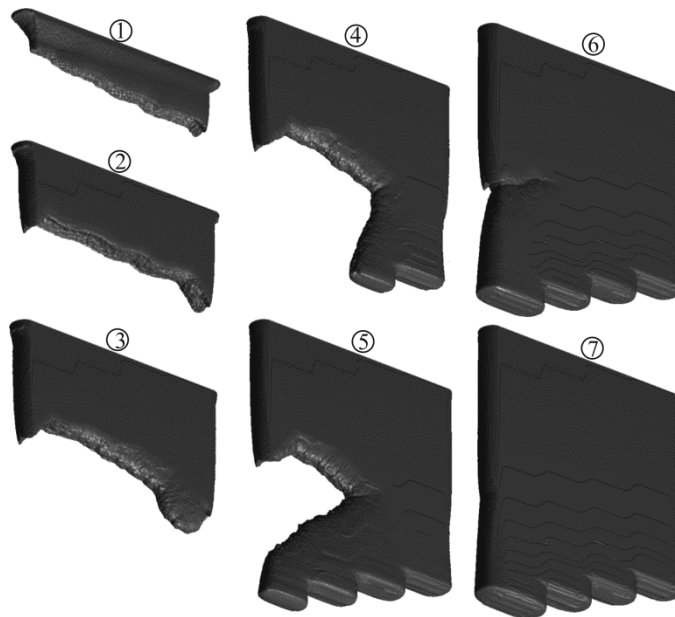
W celu rekonstrukcji prawdziwego kształtu badanych elementów stosuje się różne techniki. Do badania mikrosoczewek zaproponowałem wykorzystanie dwóch algorytmów: metody wielomianów Zernikego oraz modalnej metody fourierowskiej. Pierwsza z metod daje dokładniejsze wyniki, jednak rekonstrukcja kształtu możliwa jest tylko dla pojedynczej soczewki. Druga metoda pozwala na pomiar kształtu wielu elementów równocześnie, daje jednak mniej precyzyjne wyniki przez co nadaje się przede wszystkim do analizy jakości mikroelementów.



Rysunek 4. Pomiar kształtu mikrosoczewek: a) schemat układu pomiarowego, b) rekonstrukcja kształtu macierzy soczewek, c) eksperymentalna realizacja układu

5.3.5. Modelowanie

Te podstawowe prace związane z budową i wykorzystaniem układu litografii jonowej zostały uzupełnione o symulacje niektórych procesów technologicznych, a w szczególności procesu trawienia (B1-3, B2-5). Innymi etapami litografii protonowej, które w różnym stopniu modelowałem były: proces naświetlania, puchnięcie polimerów oraz powielanie elementów.



Rysunek 5. Przykład symulacji procesu trawienia

6. Udział w projektach badawczych

• Projekty zagraniczne

- 2001-2003 ***MOEMS based binary microdisplay with desired field of view***
 Program badawczy w ramach 5th Frame Program – “Improving the Human Research Potential and Socio-Economic Knowledge Base”, akcja “Transnational Access to major Research Infrastructure”, we współpracy z Institut für Mikrotechnik Mainz.
 #HPRI-CT-1999-00023/ #P99091-013
 Rola: wykonawca.
- 2001-2004 ***European network on ion track technology (EuNITT)***
 Europejski program badawczy
 HPRN-CT-2000-00047
 Rola: wykonawca.
- 2003-2007 ***Physics of linear, nonlinear and active photonics crystals***
 COST-P11 (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research)
 Rola: wykonawca.
- 2003-2007 ***Nanoscale and ultrafast photonics***
 COST-288 (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research)
 Rola: wykonawca.

2004- *Network of Excellence for Micro-Optics (NEMO)*

2007 Program badawczy w ramach 6th Frame Program

Rola: wykonawca.

• **Projekty krajowe**

2000 - *Opracowanie technologicznego prototypu urządzenia do wykrywania czerniaka skóry metodą fluorescencyjną*

2002

Grant Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej z programu TECHNO

2001- *Binarny mikrowyświetlacz z zadanyim kątowym polem widzenia wytworzony w technologii MOEMS (micro-opto-mechanical system)*

2003

Grant KBN DZ/2931/KP/2001

Rola: wykonawca.

2005- *SPUB NEMO*

2008

Grant 115/E343/6

Rola: wykonawca, zastępca koordynatora.

2006- *Projektowanie i wytwarzanie światłowodów mikrostrukturalnych z przerwą fotoniczną ze szkieł wieloskładnikowych*

2008

Grant MNiSW nr 3 T11B 072 30

Rola: wykonawca.

2007- *Nanooptyczna supersoczewka z metamateriału w złączu fotonicznym*

2009

Grant MNiSW nr 2446/B/T02/2007/32

Rola: wykonawca.

2007- *Nowe optyczne materiały mikrostrukturalne o własnościach nieliniowych do wytwarzania źródeł światła typu supercontinuum: projektowanie i wytwarzanie ciężkich szkieł tlenkowych oraz projektowanie i wytwarzanie mikrostruktur włóknistych, demonstracja możliwości wykorzystania materiałów do generacji supercontinuum*

2010

Grant rozwojowy R15 037 03

Rola: wykonawca.

2008- *Nowe urządzenie do pomiaru jakości elementów mikrooptycznych z wykorzystaniem filtra rzeczywistego zbudowanego w oparciu o pochodną połówkową funkcji przedmiotu*

2010

Grant MNiSW nr N505 408634

Rola: kierownik projektu.

2010- *Generacja supercontinuum w zakresie średniej podczerwieni we włóknach*
2012 *fotnicznych*

GRANT MNiSW nr NN515 523738

Rola: wykonawca.

2011- *Metamateriał plazmoniczny - liniowa filtracja przestrzenna nie ograniczona*
2013 *dyfrakcyjnie*

GRANT NCN nr UNO-2011/01/B/ST3/02281

Rola: wykonawca

Uczestniczyłem i uczestniczę również w kilku innych projektach badawczych, w których nie byłem jednak wymieniony we wniosku jako wykonawca.

7. Udział w konferencjach

- Uczestniczyłem w kilkunastu konferencjach o zasięgu międzynarodowym w kraju i za granicą. Wygłaszałem referaty jak i uczestniczyłem w sesjach plakatowych.
- Współorganizator konferencji EOS Annual Meeting (EOSAM) 2001 w Zakopanem. Odpowiedzialny za obsługę informatyczną konferencji.
- Współautor zaproszonego referatu konferencyjnego: K. Chałasińska-Macukow, R. Kasztelanic, " 'New life' of diffractive optics", EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2007, Barcelona, Hiszpania.

8. Recenzje

Recenzowałem kilka artykułów w czasopismach takich jak:

- Applied Optics,
- Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS,
- Optica Applicata,
- Central European Journal of Physics.

Warszawa, 21 marca 2012



Rafał Kasztelanic