

dr inż. Robert Szczygieł
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki
Katedra Metrologii i Elektroniki
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
e-mail: robert.szczygiel@agh.edu.pl

AUTOREFERAT

Wykształcenie, uzyskane stopnie i tytuły naukowe

- 1989 - 1994 Studia na wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki, specjalność Aparatura Elektroniczna, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
- 1995 Obrona pracy magisterskiej z elektroniki pod tytułem "Projekt układu scalonego pamięci typu FIFO 64x8 w technologii CMOS 1.2 μm "
- 28.03.2006 Obrona z wyróżnieniem pracy doktorskiej z elektroniki pod tytułem "Projektowanie bloków cyfrowych układów ASIC do odczytu detektorów pozycyjnych eksperymentu ATLAS pod kątem odporności radiacyjnej", Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej

Doświadczenie zawodowe

- 1995 - 2006 Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk
Stanowisko: elektronik.
Urlop naukowy 01.01.2000 – 30.08.2003
- 01.01.2000 – Europejskie Centrum Badań Jądrowych CERN.
30.06.2002 Stanowisko: technical fellow.
- 31.06.2002 – Europejskie Centrum Badań Jądrowych CERN.
30.08.2003 Stanowisko: ATLAS project associate.
- 2006 - do dzisiaj Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Stanowisko: adiunkt

1. Dorobek naukowy przedstawiony do oceny

1. 1. Monografia habilitacyjna pt. "Szybkie, wielokanałowe układy scalone pracujące w trybie zliczania pojedynczych fotonów w systemach detekcji niskoenergetycznego promieniowania X", Wydawnictwa AGH, Kraków, 2012

1.2. Wybrane publikacje związane z tematyką przedstawionej monografii habilitacyjnej.

Publikacje z listy filadelfijskiej ^{1) 2)}

| lp. | Publikacja | Impact factor |
|-----|--|---------------|
| 1 | R. Szczygiel, "A state of the art rad-hard digital ASIC design for high energy physics experiments," <i>Measurement Science & Technology</i> , vol. 18, no. 8, pp. 2413-2417, Aug. 2007. <i>Indywidualny wkład Autora: praca samodzielna (100%).</i> | 1,297 |
| 2 | P. Grybos, R. Szczygiel, "Pole-zero cancellation circuit with pulse pile-up tracking system for low noise charge-sensitive amplifiers," <i>IEEE Transactions on Nuclear Science</i> , vol. 55, no. 1, pp. 583-590, 2008. <i>Indywidualny wkład Autora: Udział w analizie teoretycznej i symulacyjnej oraz eksperymentalnej weryfikacji nowatorskiego układu równoważenia par biegun-zero, kluczowego dla pracy układu elektroniki front-end bez spiętrzania impulsów; rozwiązanie zastosowano później w układzie RG64 (szacowany udział: 50%).</i> | 1,518 |
| 3 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, A. Tsukiyama, K. Matsushita, T. Taguchi, "RG64-High Count Rate Low Noise Multichannel ASIC With Energy Window Selection and Continuous Readout Mode," <i>IEEE Transactions on Nuclear Science</i> , vol. 56, no. 2, pp. 487-495, 2009. <i>Indywidualny wkład Autora: Analiza elektroniki front-end z punktu widzenia odpowiedniego formowania impulsów (układy PZC, odpowiedni dobór filtrów); projekt schematów i topologii części cyfrowej układu RG64, złożenie i weryfikacja całego układu; udział w testowaniu układu - rozwiązanie trudnych problemów przesłuchu w układzie mieszanym; analiza wyników pomiarów, zwłaszcza wyników szybkościowych (szacowany udział: 65%).</i> | 1,591 |
| 4 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, A. Tsukiyama, K. Matsushita, T. Taguchi, "Low-noise multichannel ASIC for high count rate X-ray diffractometry applications," <i>Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section a-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment</i> , vol. 607, no. 1, pp. 229-232, 2009 <i>Indywidualny wkład Autora: Udział w doborze architektury front-end; projekt schematów i topologii części cyfrowej układu RG64, złożenie i weryfikacja całego układu; wspólne pomiary w Rigaku Corporation w Japonii z różnymi typami detektorów oraz próbkami materiałów do testowania; analiza wyników pomiarów (szacowany udział: 65%).</i> | 1,317 |
| 5 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "A Prototype Pixel Readout IC for High Count Rate X-Ray Imaging Systems in 90 nm CMOS Technology," <i>IEEE Transactions on Nuclear Science</i> , vol. 57, no. 3, pp. 1664-1674, 2010. <i>Indywidualny wkład Autora: Analiza i właściwy dobór sprzężenia zwrotnego we wzmacniaczu ładunkowym; określenie i optymalizacja krytycznych elementów z punktu widzenia minimalizacji efektów przesłuchu i jednorodności matrycy pikseli; projekt schematów i topologii części cyfrowej układu scalonego, złożenie i weryfikacja całego układu; udział w testach układu scalonego, analiza wyników pomiarowych z uwzględnieniem efektów podziału ładunku i różnych modeli szybkościowych układu (szacowany udział: 60%).</i> | 1,524 |
| 6 | P. Grybos, M. Kachel, P. Kmon, R. Szczygiel, T. Taguchi, "Low Noise 64-Channel ASIC for AC and DC Coupled Strip Detectors," <i>IEEE Transactions on Nuclear Science</i> , vol. 58, no. 1, pp. 187-193, 2011. <i>Indywidualny wkład Autora: Opracowanie bloków kontroli dla analogowych układów elektroniki front-end i bloków cyfrowych do współpracy z różnymi typami detektorów; analiza wyników pomiarów (szacowany udział: 15%).</i> | 1,524 |

| | | |
|----------------------------------|--|---------------|
| 7 | M. Kachel, P. Grybos, R. Szczygiel, T. Takeyoshi, "Measurements of low noise 64 channel counting ASIC for Si and CdTe strip detectors," <i>Journal of Instrumentation</i> , vol. 6, pp. 1-6, Jan 2011. <i>Indywidualny wkład Autora:</i> Opracowanie bloków kontroli dla analogowych układów front-end; opracowanie schematów i topologii części cyfrowej układu scalonego; analiza wyników pomiarów (szacowany udział: 40%). | 3,148 |
| 8 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "FPDR90-A Low Noise, Fast Pixel Readout Chip in 90 nm CMOS Technology," <i>IEEE Transactions on Nuclear Science</i> , vol. 58, no. 3, pp. 1361-1369, Jun, 2011. <i>Indywidualny wkład Autora:</i> Zaproponowanie nowatorskiego, szybkiego formowania impulsów w torze front-end (wzmacniacz ładunkowy z odpowiednio dostosowanym obwodem Krummenachera i wzmacniacz główny z poprawionym zakresem liniowym) wraz ze wszystkim niezbędnymi obliczeniami; udział w optymalizacji szumowej bloków pracujących w obszarze silnej inwersji i minimalizacji efektów niedopasowania (odpowiednie bloki korekcyjne) oraz minimalizacji efektów przesłuchu; opracowanie schematów i topologii części cyfrowej układu FPDR90 oraz schematów i topologii całego układu; weryfikacja projektu; analiza danych pomiarowych z punktu widzenia wyznaczenia parametrów analogowych w obecności podziału ładunku; szczegółowe analizy szybkościowe układu w funkcji prądów polaryzujących (szacowany udział 50%). | 1,524 |
| 9 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "High Framerate Measurements of Semiconductor Pixel Detector Readout IC", <i>Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment</i> , vol. 680, no. 1, pp. 56-60, 2012. <i>Indywidualny wkład Autora:</i> Opracowanie schematów i topologii części cyfrowej układu scalonego, opracowanie topologii całego układu i jej weryfikacja; opracowanie architektury odczytu umożliwiającej efektywny odczyt ciągły oraz oryginalnego rozwiązania pracy bloków cyfrowych z dwoma sygnałami zegara umożliwiającego selekcję bitów; symulacje szybkości działania układu; testy z laserem - dobór odpowiedniej konfiguracji; analiza danych pomiarowych (szacowany udział: 60%) | 1,142 |
| Sumaryczny impact factor: | | 14,585 |

¹⁾ Do publikacji z roku 2011/2012 przypisano współczynniki impact factor za rok 2010

²⁾ Oświadczenia współautorów dotyczące indywidualnego wkładu w powstanie poszczególnych publikacji znajdują się w odrębnym załączniku.

Publikacje w materiałach konferencyjnych konferencji międzynarodowych związane z tematyką przedstawioną w monografii habilitacyjnej.

| lp. | Publikacja |
|-----|--|
| 1 | P. Grybos, P. Maj, R. Szczygiel, L. Ramello, M. Idzik, K. Swientek, T. Stobiecki, "DEDIX – development of fully integrated multichannel ASIC for high count rate digital X-ray imaging systems", <i>2006 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , October 29–Nov. 4, 2006, San Diego, California, pp. 693-696 |
| 2 | P. Grybos, P. Maj, R. Szczygiel, "Comparison of two pole-zero cancellation circuits for fast charge sensitive amplifier in CMOS technology", <i>MIXDES 2007: Proceedings of the 14th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems</i> , Ciechocinek, Poland, 21–23 June 2007, pp. 243-246 |
| 3 | L. Bolaños, A. E. Cabal, P. Grybos, P. Maj, A. Marzari, F. Prino, L. Ramello, K. Swientek, R. Szczygiel, "Development of a 512-channel module for digital X-ray imaging systems with silicon strip detectors", <i>Tenth Mexican symposium on Medical physics</i> , Mexico City, Mexico, 17–19 March 2008, pp. 229-232 |
| 4 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "Noise optimization of fast charge sensitive amplifier in submicron technology for low power application", <i>MIXDES 2008: Proceedings of the 15th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems</i> , Poznań, Poland, 19–21 June, 2008, pp. 81-84 |

| | |
|----|---|
| 5 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, A. Tsukiyama, K. Matsushita, T. Taguchi, "RG64 – High count rate multichannel ASIC with energy window selection for X-ray imaging applications", <i>2008 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , 19–25 October 2008 Dresden, Germany, pp. 1836-1842 |
| 6 | M. Kachel, P. Grybos, P. Kmon, R. Szczygiel, "SXHR64-Multichannel Low Noise ASIC for CdTe and GaAs Detectors", <i>MIXDES 2009: Proceedings of the 16th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems</i> , Łódź, Poland 25–27 June, 2009, pp. 324-327 |
| 7 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "Design of Pixel Readout Integrated Circuits in Submicron Technology to Minimize the Mismatch Effects", <i>MIXDES 2009: Proceedings of the 16th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems</i> , Łódź, Poland 25–27 June, 2009, pp. 51-54 |
| 8 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "A Pixel Readout Chip Designed in 90nm CMOS Process for High Count Rate Imaging Systems", <i>2009 IEEE Nuclear Science Symposium Conference</i> , Orlando Florida, 25–31 October, pp. 1103-1106 |
| 9 | R. Szczygiel, "Krummenacher feedback analysis for high-count-rate semiconductor pixel detector readout", <i>MIXDES 2010: Proceedings of the 17th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems</i> , Wrocław, Poland 24–26 June, 2010, pp. 412-415 |
| 10 | M. Kachel, P. Grybos, R. Szczygiel, T. Taguchi, "Measurements and performance of a low noise 64-channel ASIC with CdTe strip detectors", <i>2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , October 30, 2010 – November 6, 2010, Knoxville, Tennessee, pp. 1560-1564 |
| 11 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, A. Tsukiyama, K. Matsushita, T. Taguchi, "Multichannel integrated system for fast X-ray imaging applications", <i>IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology</i> , Viña del Mar, Chile, March 14-17, 2010, pp. 1567-1570 |
| 12 | G. W. Deptuch, M. Trimpl, R. Yarema, D. P. Siddons, G. Carini, P. Grybos, R. Szczygiel, M. Kachel, P. Kmon, P. Maj, "VIPIC IC – design and test aspects of the 3D pixel chip", <i>2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , October 30, 2010 – November 6, 2010, Knoxville, Tennessee, pp. 1540-1543 |
| 13 | A. Baumbaugh, G. Carini, G. Deptuch, P. Grybos, J. Hoff, P. Maj, P. Siddons, R. Szczygiel, M. Trimpl, R. Yarema, "Analysis of full charge reconstruction algorithms for X-ray pixelated detectors", <i>2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , Valencia, Spain, 23–29 October 2011, pp. 660–667 |
| 14 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, "A Low Noise, Fast Pixel Readout IC Working in Single Photon Counting Mode with Energy Window Selection in 90 nm CMOS", <i>2011 IEEE International Symposium on Circuits and Systems</i> , May 15th to 18th, 2011, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 1415-1418 |
| 15 | P. Maj, P. Grybos, R. Szczygiel, "Fast hybrid pixel detectors with continuous readout in deep submicron and 3D technologies", <i>MIXDES 2011: Proceedings of the 18th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems</i> , Gliwice, Poland, 16–18 June, 2011, pp. 319–322 |
| 16 | R. Szczygiel, P. Grybos, P. Maj, M. Zoladz, "PXD18k – fast single photon counting chip with energy window for hybrid pixel detector", <i>2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , Valencia, Spain, 23–29 October 2011, pp. 932–937 |
| 17 | R. Szczygiel, P. Gryboś, P. Maj, "Tests of FPDR90 IC for hybrid detector readout for high frame rate X-ray applications", <i>2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference</i> , Valencia, Spain, 23–29 October 2011, pp. 675–676 |
| 18 | P. Maj, P. Gryboś, R. Szczygiel, "Development of a fast readout chip in deep submicron technology for pixel hybrid detectors", <i>20th European Conference on Circuit Theory and Design</i> , August 29–31, 2011, Linköping, Sweden, pp. 409–412 |
| 19 | P. Maj, A. Baumbaugh, G. Deptuch, P. Gryboś, R. Szczygiel, "Minimization of charge sharing effect in silicon hybrid pixel X-ray detectors based on pattern recognition algorithm", <i>IEEE International Conference on Industrial Technology</i> , March 19–21, 2012, Athens, Greece, pp. 562–566 |

2. Syntetyczny opis najważniejszych osiągnięć naukowych

Prace badawcze związane z projektowaniem układów scalonych Autor rozpoczął po zakończeniu studiów w 1995 roku, w Instytucie Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego w Krakowie. Główną ich tematyką były zagadnienia związane z projektowaniem wielokanałowych układów scalonych dedykowanych do odczytu detektorów w eksperymentach fizyki wysokich energii, w szczególności dla detektora śladów oraz dla detektora promieniowania przejścia w systemie detekcyjnym ATLAS na zderzaczu hadronowym LHC (ang. Large Hadron Collider), budowanym w Europejskim Centrum Badań Jądrowych (CERN). W wyniku współpracy z grupą mikroelektroniczną z CERN (gdzie Autor spędził ponad 3 lata), opracowane zostały m. in. dwa układy scalone:

- ABCD - 128-kanałowy układ scalony do odczytu paskowych detektorów krzemowych w detektorze śladów SCT (ang. Silicon Tracker). Układ został zaprojektowany w militarnej technologii DMILL, o zwiększonej odporności na promieniowanie. Cały system detektora krzemowego zawiera 6,2 mln kanałów odczytowych, czyli ponad 48 tysięcy układów scalonych ABCD. Odpowiedzialność Autora obejmowała projekty pamięci, układów logicznych odczytu danych oraz złożenie w całość i weryfikację pierwszej wersji układu na poziomie schematu i topologii. Aktualnie układy ABCD są zainstalowane i używane do zbierania danych w systemie detekcyjnym ATLAS.
- DTMROC - 16-kanałowy układ scalony używany w torze odczytu słomkowych detektorów promieniowania przejścia TRT (ang. Transition Radiation Tracker) w systemie detekcyjnym ATLAS. Układ został zaprojektowany w nowoczesnej w tym czasie technologii CMOS 0,25 μm . Cały system detektora promieniowania przejścia zawiera 298 tysięcy kanałów odczytowych, czyli ponad 18 tysięcy układów scalonych DTMROC. Odpowiedzialność Autora obejmowała projekty pamięci, schematu na poziomie całego układu oraz syntezę topologii i weryfikację całego układu. Obecnie układy DTMROC są zainstalowane i używane do zbierania danych w systemie detekcyjnym ATLAS.

Szczególnie trudnym elementem specyfikacji obydwu układów były bardzo wysokie wymagania odporności radiacyjnej (dawki ok. 10 razy większe od aplikacji kosmicznych), przy jednoczesnej minimalizacji poboru mocy i powierzchni układów, dostosowanych geometrycznie do detektorów. Wymagania te zostały spełnione, o czym świadczy zastosowanie układów w eksperymencie.

Prace Autora związane z projektami układów scalonych dla eksperymentów fizyki wysokich energii zaowocowały wieloma publikacjami w czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Efekty prac zostały podsumowane pracą dokorską obronioną z wyróżnieniem na Politechnice Łódzkiej w 2006 roku.

Objęcie przez Autora w 2006 stanowiska adiunkta w Katedrze Metrologii AGH otworzyło nowe możliwości. Aktualnie badania związane z projektowaniem układów scalonych są prowadzone przez Autora w trzech głównych kierunkach:

- rozwój układów scalonych do odczytu detektorów krzemowych w systemie detekcyjnym CBM (ang. Compressed Baryonic Matter) w przyszłym akceleratorze FAIR (ang. Facility for Antiproton and Ion Research) w Darmstadt, Niemcy,
- rozwój układów scalonych dedykowanych do odczytu sygnałów neuronowych,
- rozwój układów scalonych dedykowanych do szybkiego obrazowania z wykorzystaniem promieniowania X.

Układy scalone projektowane dla aplikacji związanych z wymienionymi kierunkami mają wiele cech wspólnych. Mianowicie:

- W każdym przypadku są to układy wielokanałowe, dedykowane do przetwarzania sygnałów z matryc sensorów o dużej gęstości. W związku z tym powierzchnia krzemu dostępna dla pojedynczego kanału jest ograniczona. Najostrzejsze wymagania w tym względzie narzucają krzemowe detektory pikselowe, gdzie cały tor elektroniki odczytu musi się mieścić np. na powierzchni 100 μm \times 100 μm .
- Sygnały z matryc sensorów mają zazwyczaj bardzo małą amplitudę, np. w aplikacjach związanych z obrazowaniem typowy sygnał z detektora krzemowego niesie ładunek ok. 2000 elektronów,

natomiast typowy sygnał neuronowy, mierzony zewnątrzkomórkowo, ma amplitudę rzędu 50 - 500 μV . W związku z tym tory elektroniki odczytu muszą charakteryzować się bardzo niskimi szumami własnymi, co stoi w sprzeczności z wymaganiem minimalizacji powierzchni i poboru mocy.

- Układom stawiane są ostre ograniczenia dotyczące poboru mocy. W eksperymentach fizyki wysokich energii takich jak CBM, gdzie docelowo cały system posiada setki tysięcy lub miliony kanałów odczytowych, ograniczenie poboru mocy wynika głównie z potrzeby minimalizacji systemu chłodzącego i systemu zasilania. W aplikacjach związanych z obrazowaniem, zwłaszcza w aplikacjach komercyjnych, podstawową rolę gra cena - system chłodzony powietrzem jest znacznie tańszy. Natomiast w aplikacjach neurobiologicznych bardzo istotne jest utrzymanie właściwej temperatury badanej tkanki nerwowej, która już przy niewielkich wahaniach temperatury może ulec uszkodzeniu.
- Ograniczenia na pobór mocy i rozmiar układu skutkują zwiększeniem rozrzutów parametrów analogowych kanałów, stąd konieczność wprowadzania korekcji cyfrowej.
- W układach na jednym podłożu krzemowym łączone są wrażliwe elementy analogowe i cyfrowe układy logiczne, co sprawia, że zagadnienie przesłuchów staje się niezwykle istotne i pojawia się konieczność dobrej izolacji części analogowej od cyfrowej.

Należy podkreślić, że tematyka projektowania układów wielokanałowych jest bardzo trudna i każde konkretne rozwiązanie wymaga wypracowania na etapie projektu wielu kompromisów.

Rozwój układów scalonych dla systemu detekcyjnego CBM ma na celu opracowanie układu scalonego do odczytu dwustronnych paskowych detektorów krzemowych, 128-kanałowego, samowyzwalającego, o dużej szybkości działania (średnia częstość interakcji na kanał ok. 150 kHz), który będzie nie tylko generował informację o miejscu zdarzenia (interakcji cząstki lub fotonu z detektorem), ale również, co wyróżnia go zśród istniejących rozwiązań, dostarczy danych dotyczących czasu interakcji i zdeponowanej w detektorze energii. Prace bazują na doświadczeniu Autora wyniesionym z udziału w Kolaboracji ATLAS oraz 6 Programie Ramowym NMI3. Do tej pory zawarte zostały dwie umowy (kierownik R. Szczygieł) na wykonanie prac badawczych pomiędzy AGH w Krakowie i ośrodkiem GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH), Darmstadt, Niemcy. W ramach umów przeprowadzono badania nad możliwością zastosowania techniki ToT (ang. Time over Threshold) do pomiaru energii zdeponowanej w paskowym detektorze krzemowym o dużej pojemności (od 30 pF). Opracowano dwa prototypowe układy scalone, a wyniki badań zostały opublikowane w artykułach recenzowanych i przedstawione na konferencjach międzynarodowych. W wyniku badań powstała praca doktorska (K. Kasinski). Autor miał istotny udział w opiece nad doktorantem wspólnie z jego promotorem (prof. P. Gryboś). Praca otrzymała dwie pozytywne recenzje i będzie bronią w czerwcu 2012 roku. W dalszej kolejności planowane jest podjęcie się przez grupę mikroelektroniczną z Katedry Metrologii i Elektroniki AGH wykonania układu scalonego do odczytu detektorów krzemowych jako polskiego wkładu rzeczowego do eksperymentu CBM FAIR (Autor jest reprezentantem Katedry Metrologii i Elektroniki AGH w radzie Kolaboracji CBM).

Badania związane z rozwojem układów scalonych dedykowanych do odczytu sygnałów neuronowych są ukierunkowane na opracowanie wielokanałowych układów scalonych przeznaczonych do odczytu i stymulacji komórek nerwowych mózgu w eksperymentach in-vivo i in-vitro. Celem prowadzonych badań jest budowa, w oparciu o technologię scalonych układów VLSI, wielokanałowego interfejsu do pomiarów i stymulacji aktywności sieci neuronowych mózgu.

Autor w latach 2008-2011 kierował grantem rozwojowym, który miał na celu wykonanie prototypu układu o takiej funkcjonalności. W ramach projektu opracowano trzy prototypowe układy scalone, charakteryzujące się parametrami analogowymi porównywalnymi z najlepszymi rozwiązaniami na świecie oraz bardzo dobrą jednorodnością częstotliwości granicznych użytych filtrów. Powstałe w ramach projektu prototypy układów charakteryzują się poborem mocy w zakresie dziesiątek mikrowatów na kanał, przy zachowaniu niskiego poziomu szumów oraz niespotykaną

dotychczas w literaturze jednorodnością wszystkich parametrów analogowych (zwłaszcza dolnej częstotliwości granicznej). Szeroki zakres przestrajania pasma umożliwia pomiary różnych typów sygnałów neurobiologicznych. Dodatkowo opracowano bloki do efektywnej stymulacji i układy do niskomocowego przesyłania danych, co jest ważnym krokiem w budowie w przyszłości efektywnych neuroprotez. Zbudowano stanowiska pomiarowe do eksperymentów in-vivo i in-vitro. W celu przeprowadzenia eksperymentów neurobiologicznych nawiązano współpracę z Instytutem Zoologii Uniwersytetu Jagiellońskiego (eksperymenty in-vivo) oraz Katedrą Neurobiologii Uniwersytetu Łódzkiego (eksperymenty in-vitro). Opracowane układy scalone i systemy pomiarowe były nagradzane na wystawach wynalazków w Genewie (2010) i Seulu (2011). Wyniki grantu zostały wykorzystane w pracy doktorskiej (P. Kmon - obroniona z wyróżnieniem w czerwcu 2011). Wyniki prac zostały opublikowane w artykułach recenzowanych oraz przedstawione na międzynarodowych konferencjach (ponad 30 publikacji, w większości na konferencjach międzynarodowych, dwie publikacje na liście filadelfijskiej i jedno zgłoszenie patentowe). W dalszym ciągu planowana jest kontynuacja eksperymentów neurobiologicznych i opracowanie nowych systemów do odczytu i stymulacji komórek neuronowych z bezprzewodową transmisją danych.

Badania związane z rozwojem układów scalonych dedykowanych do szybkiego obrazowania z wykorzystaniem promieniowania X ukierunkowane są głównie na potencjalne zastosowania komercyjne związane z dyfraktometrią. W części teoretyczno-symulacyjnej sprowadzają się one do dwóch zagadnień: szybkiego kształtowania impulsu z detektora w torze analogowym oraz szybkiego przetwarzania sygnałów cyfrowych. Autor przeprowadził w tym zakresie wiele analiz, z których wybrane zostały zaprezentowane w załączonej monografii. Wnioski z przeprowadzonych analiz zostały wykorzystane w projektach czterech układów scalonych:

- RG64 - układ dla potrzeb szybkiej dyfraktometrii, zbudowany na zlecenie japońskiej firmy Rigaku Corporation, w technologii CMOS 0.35 μm . Układ stanowi podstawowy element sprzedawanego na całym świecie modułu do pomiarów dyfrakcyjnych promieniowania X "D/teX Ultra" (2 publikacje na liście filadelfijskiej).
- PX90 i FPDR90 - prototypowe układy scalone dla potrzeb rejestracji promieniowania X za pomocą krzemowych detektorów pikselowych, wykonane w technologii 90 nm. Układ PX90 był pierwszym na świecie układem tego typu, wykonanym w tak zaawansowanej technologii. Układ FPDR90 jest jego udoskonaloną wersją o bardzo konkurencyjnych parametrach (3 publikacje na liście filadelfijskiej).
- PxD18k - pełnowymiarowy układ scalony do odczytu pikselowych detektorów półprzewodnikowych promieniowania X. Układ został zaprojektowany z ukierunkowaniem na zastosowania komercyjne (jest w trakcie komercjalizacji) (m.in. 2 zgłoszenia patentowe w Japonii, publikacja zaakceptowana do NIM-A z pozytywnymi recenzjami).

Wymienione układy scalone zostały szczegółowo opisane w załączonej monografii. To, co wyróżniało te układy, to możliwość pracy ze znacznie większą intensywnością promieniowania X niż rozwiązania spotykane dotychczas w literaturze. Oznaczało to w praktyce opracowanie szeregu nowych rozwiązań w obszarze analogowego formowania sygnału (tak, aby możliwa była praca z częstościami sięgającymi kilku milionów impulsów na sekundę) oraz rozwiązań bloków cyfrowych pozwalających czytać dane z matryc detektorów w trybie ciągłym (z zerowym czasem martwym). W przypadku każdego układu zakres odpowiedzialności Autora obejmował opracowanie części cyfrowej, złożenie i weryfikację całego układu.

Badania związane z rozwojem układów scalonych do szybkiego obrazowania z wykorzystaniem promieniowania X zostały podsumowane w załączonej monografii. Autor planuje dalsze prace związane z tą tematyką, które rozwijają się w dwóch kierunkach:

- Pierwszym kierunkiem jest wykorzystanie najnowszych technologii 3D, które polegają na wertykalnym łączeniu plastrów krzemowych, w celu zwiększenia funkcjonalności układów scalonych. W tym celu nawiązana została ścisła współpraca pomiędzy Katedrą Metrologii i Elektroniki AGH oraz amerykańskim laboratorium Fermilab (wspólne projekty w technologii firmy

Tezzaron z połączeniami wertykalnymi TSV o średnicy 1,3 μm i plastrami krzemowymi ścienianymi do 6 μm). W podobnym kierunku postępują prace związane z realizacją projektu "AIDA" (7 Program Ramowy), w którym Autor uczestniczy (koordynator ze strony Wydziału EAIiE AGH).

- Drugi kierunek to opracowanie nowych rozwiązań układowych w najnowszych technologiach półprzewodnikowych, które pozwolą na ograniczenie wpływu podziału ładunku w detektorze na jakość obrazowania (obecnie prowadzony projekt w technologii CMOS 40 nm).

Podsumowując, badania związane z projektowaniem wielokanałowych układów scalonych we wszystkich wymienionych kierunkach (układów scalonych dla potrzeb eksperymentów fizyki wysokich energii, układów dla pomiarów neurobiologicznych i układów do pomiarów dyfraktometrycznych) są tematem ciągle aktualnym i stawiają przed projektantami wiele interesujących i jednocześnie bardzo trudnych wyzwań. Osiągnięcie pożądaných parametrów układów wiąże się z przeprowadzeniem złożonych analiz i wypracowaniem wielu kompromisów. Zamierzeniem Autora jest kontynuacja badań w tych kierunkach, przy czym szczególnym celem Autora jest doprowadzenie do zastosowania każdego projektowanego układu w konkretnym systemie pomiarowym.

