

Analiza teoretyczna i doświadczalna możliwości zautomatyzowania oraz zastosowania metod fototermicznych i rekombinacyjnych do badań wybranych półprzewodników i struktur półprzewodnikowych

Dr inż. Wiesław Madej

*Katedra Systemów Cyfrowego Przetwarzania
Sygnałów*

*Wydział Elektroniki i Informatyki Politechniki
Koszalińskiej*

Agenda

1. Wstęp. Metody fototermiczne i rekombinacyjne
2. Parametry fizyczne próbek jakie można wyznaczyć stosując powyższe metody
3. Stanowiska badawcze stosowane w wybranych metodach
4. Przykładowe uzyskane wyniki doświadczalne
5. Zadania planowane do wykonania w trakcie dalszych badań
6. Podsumowanie
7. Wykaz publikacji bezpośrednio związanych z prezentowaną tematyką

Metody fototermiczne i rekombinacyjne

Metody te mają między innymi zastosowanie do:

- a) badań parametrów termicznych takich przykładowo jak dyfuzyjność termiczna oraz przewodnictwo cieplne,
- b) parametrów rekombinacyjnych takich jak czas życia nośników oraz prędkość rekombinacji powierzchniowej nośników, a także
- c) badań parametrów widmowych takich jak widma współczynnika absorpcji optycznej, efektywny współczynnik absorpcji optycznej w zakresie podczerwieni.
- d) badań stanu powierzchni półprzewodników będącej wynikiem ich obróbki powierzchniowej
- e) badań zmian zachodzących w obszarach implantowanych materiałów półprzewodnikowych w wyniku wysokoenergetycznej implantacji jonowej
- f) innych badań

Najczęściej stosowane metody fototermiczne i rekombinacyjne

- a) PA - metoda fotoakustyczna**
 - b) PCR- metoda radiometrii nośników**
 - c) PTR- metoda radiometrii fototermicznej**
 - d) PZE- metoda piezoelektryczna**
 - e) MFCA- metoda zmodulowanej absorpcji na swobodnych nośnikach**
 - f) SPV- metoda fotonapięcia powierzchniowego**
 - g) LBIC- metoda prądów indukowanych wiązką światła**
 - h) PD- metoda fotodefleksyjna**
 - i) metoda μ -PCR- metoda odbicia mikrofal na nośnikach**
- (W wykazie wyszczególniono metody, które są obecnie stosowane do badań w Katedrze Elektroniki.)

Parametry fizyczne próbek jakie można wyznaczyć stosując powyższe metody

a) PA - metoda fotoakustyczna

Parametry termiczne: dyfuzyjność termiczna, przewodnictwo cieplne, ciepło właściwe.

Parametry optyczne: widmo współczynnika absorpcji optycznej, ocena stanu powierzchni próbek półprzewodnikowych (absorpcja powierzchniowa).

Parametry rekombinacyjne: czas życia nośników, prędkość rekombinacji powierzchniowej.

Parametry fizyczne próbek jakie można wyznaczyć stosując powyższe metody

b) PCR- metoda radiometrii nośników

Parametry rekombinacyjne: czas życia nośników, prędkość rekombinacji powierzchniowej.

c) PTR- metoda radiometrii fototermicznej

Parametry rekombinacyjne: czas życia nośników, prędkość rekombinacji powierzchniowej.

Parametry termiczne: dyfuzyjność termiczna lub przewodnictwo cieplne.

Parametry optyczne: współczynnik absorpcji optycznej dla zadanej wartości długości światła, efektywny współczynnik absorpcji dla podczerwieni.

Parametry fizyczne próbek jakie można wyznaczyć stosując powyższe metody

d) PZE- metoda piezoelektryczna

Parametry optyczne: widmo współczynnika absorpcji optycznej, ocena stanu powierzchni próbek półprzewodnikowych (absorpcja powierzchniowa).
Parametry optyczne i termiczne cienkich warstw powierzchniowych próbek półprzewodnikowych.
Ocena stopnia zdefektowania powierzchni próbek.

Parametry termiczne: dyfuzyjność termiczna.

e) MFCA- metoda zmodulowanej absorpcji na swobodnych nośnikach

Parametry rekombinacyjne: czas życia nośników, prędkość rekombinacji powierzchniowej.

Parametry fizyczne próbek jakie można wyznaczyć stosując powyższe metody

g) LBIC- metoda prądów indukowanych wiązką światła

Pomiary czasu życia nośników w próbkach
półprzewodnikowych.

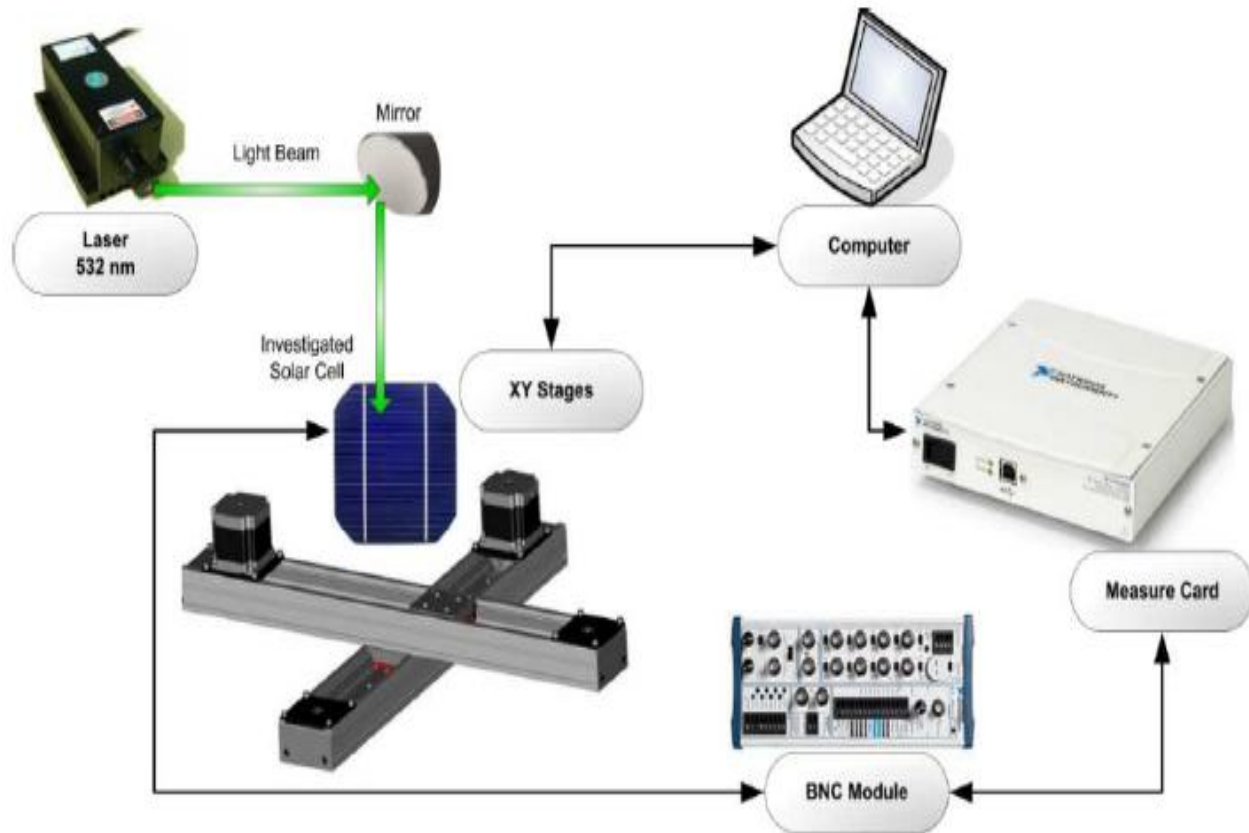
Parametry elektryczne ogniw słonecznych: V_{oc} ,
 I_{sc} , $I(v)$, r_s , r_p , Wydajność energetyczna i
kwantowa ogniw. Rozkłady przestrzenne
fotonapięcia i fotoprądu w ogniwach
fotowoltaicznych.

Podział metody fototermicznych i rekombinacyjnych

- a) pomiary punktowe charakterystyk częstotliwościowych amplitudowych i fazowych różnych sygnałów zależnie od zastosowanej metody detekcji oraz charakterystyk stałoprądowych.**
- b) pomiary rozkładów przestrzennych wybranych sygnałów (amplitudy i fazy).**
- c) pomiary globalne - tj. uśrednione na całej powierzchni badanego obiektu**

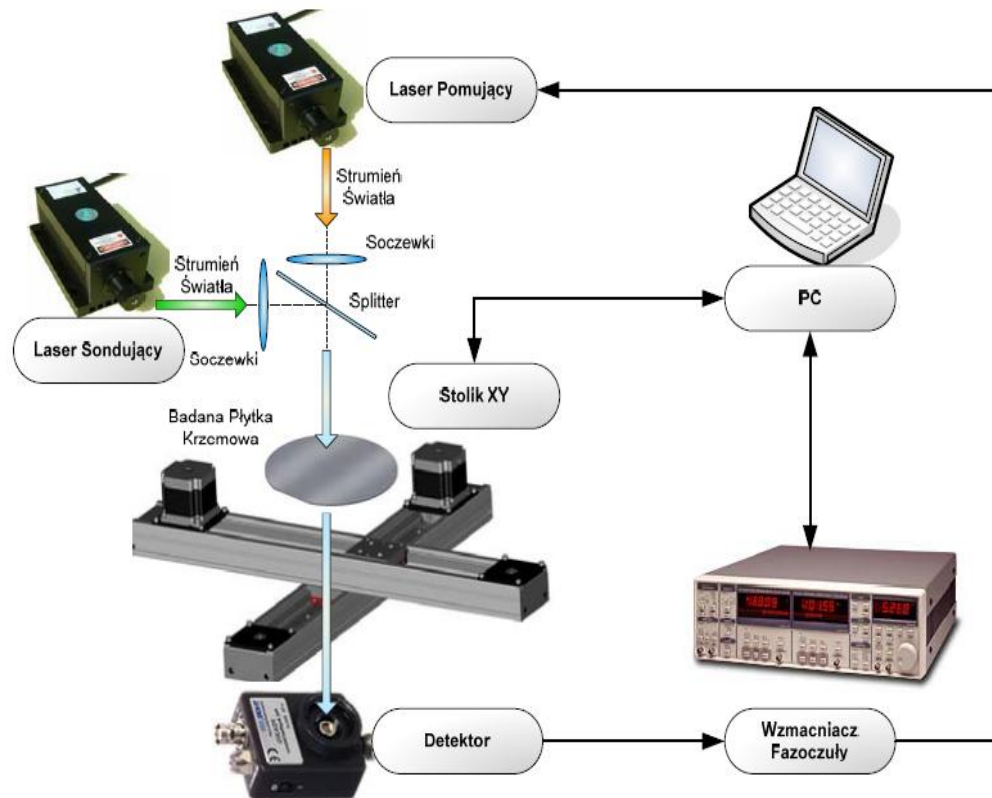
STANOWISKA BADAWCZE STOSOWANE W WYBRANYCH METODACH

Stanowisko badawcze do pomiarów ogniw słonecznych metodą LBIC



Ł. Chrobak, **W. Madej**, M. Maliński: *Chosen Aspects Of Investigations Of Solar Cells With The Laser Beam Induced Current Technique*, Metrology and Measurement Systems 22 (2), (2015)241-250

Stanowisko badawcze do pomiarów czasu życia metodą MFCA



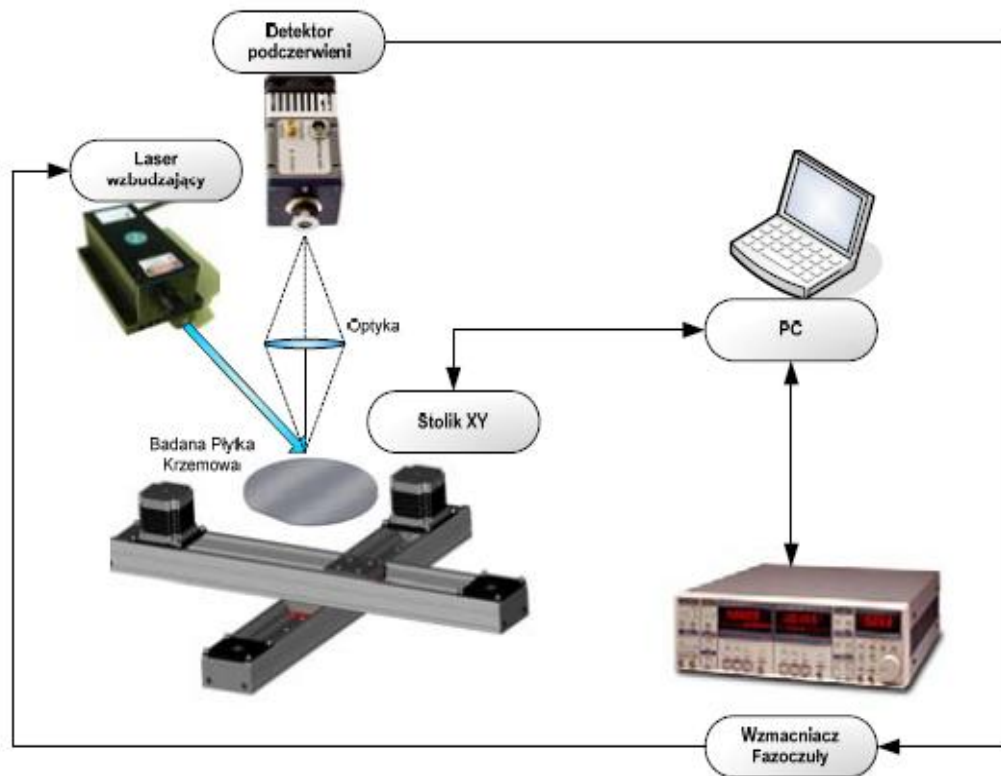
M. Maliński, L. Bychto, Ł. Chrobak, **W. Madej**: *Mapowanie czasu życia nośników w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem techniki modulacji absorpcji na swobodnych nośnikach*, Przegląd elektrotechniczny 9, 113-116, 2015

Stanowisko badawcze do pomiarów czasu życia metodą MFCA



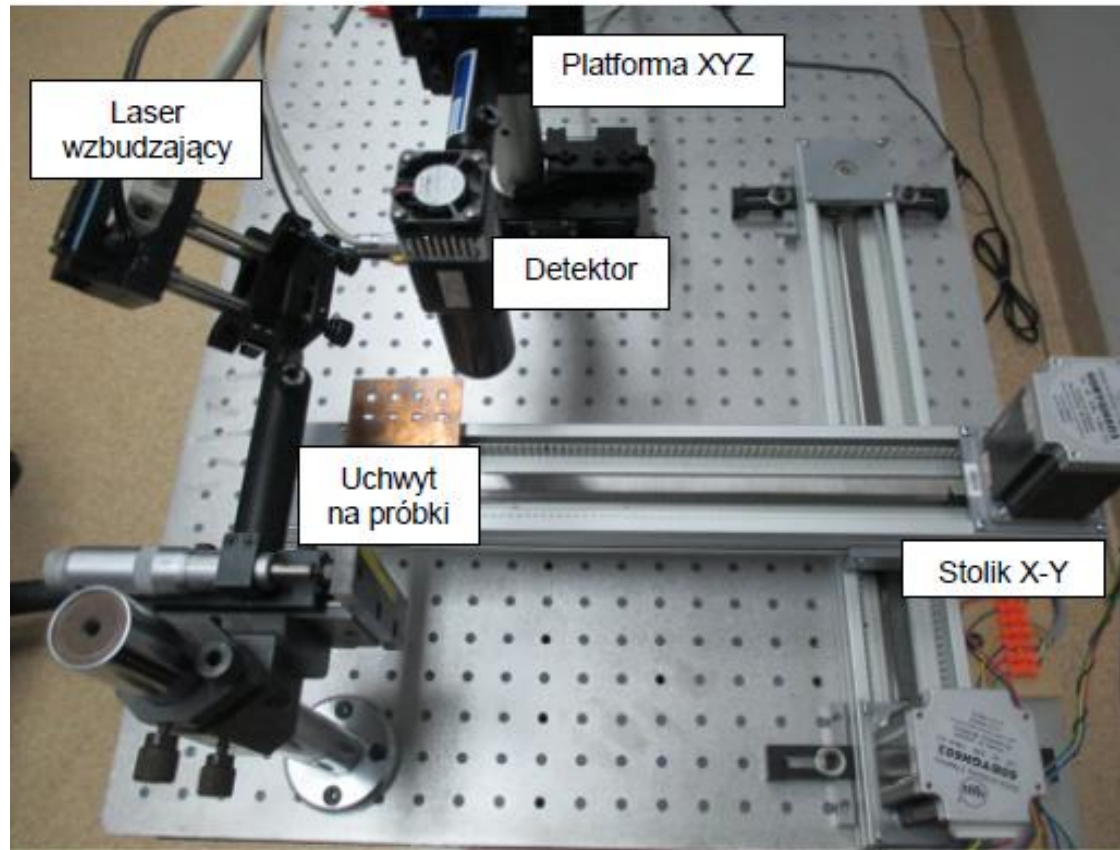
M. Maliński, L. Bychto, Ł. Chrobak, **W. Madej**: *Mapowanie czasu życia nośników w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem techniki modulacji absorpcji na swobodnych nośnikach*, Przegląd elektrotechniczny 9, 113-116, 2015

Stanowisko badawcze do pomiarów czasów życia metodą PTR



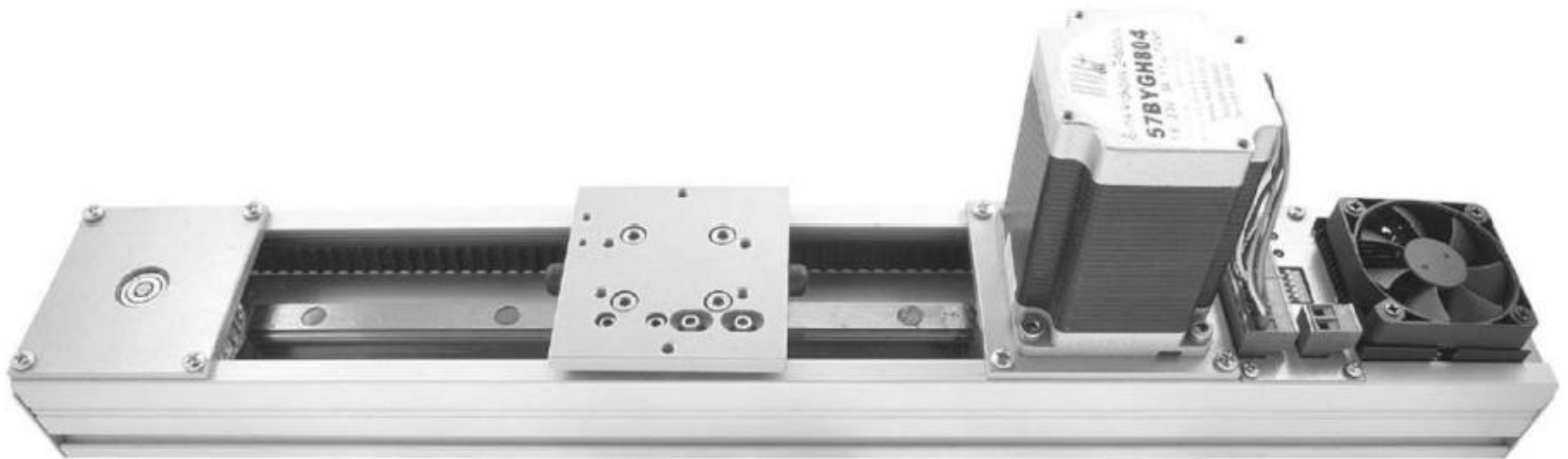
Ł.Chrobak, M.Maliński 'Obrazowanie obszarów implantowanych w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem nieniszczącej techniki radiometrii w podczerwieni' Przegląd Elektrotechniczny R.93 Nr 8, (1017) 92-94

Stanowisko badawcze do pomiarów czasów życia metodą PTR



Ł.Chrobak, M.Maliński 'Obrazowanie obszarów implantowanych w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem nieniszczącej techniki radiometrii w podczerwieni' Przegląd Elektrotechniczny R.93 Nr 8, (1017) 92-94

Część stanowiska sterująca przesuwami obiektu w płaszczyźnie X-Y

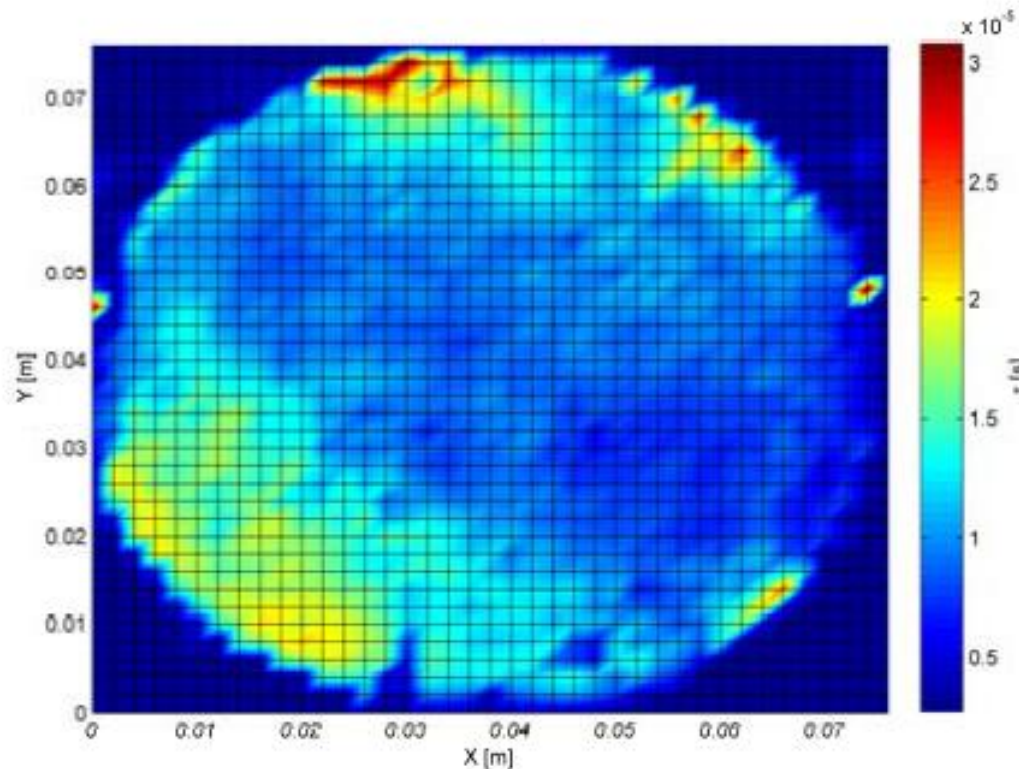


Moduł liniowy MLA firmy WOBIT

Ł. Chrobak, **W. Madej**, M. Maliński: *Realizacja stanowiska badawczego do mapowania wydajności prądowej ogniw fotowoltaicznych metodą LBIC*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 6, 2014 Lista B.

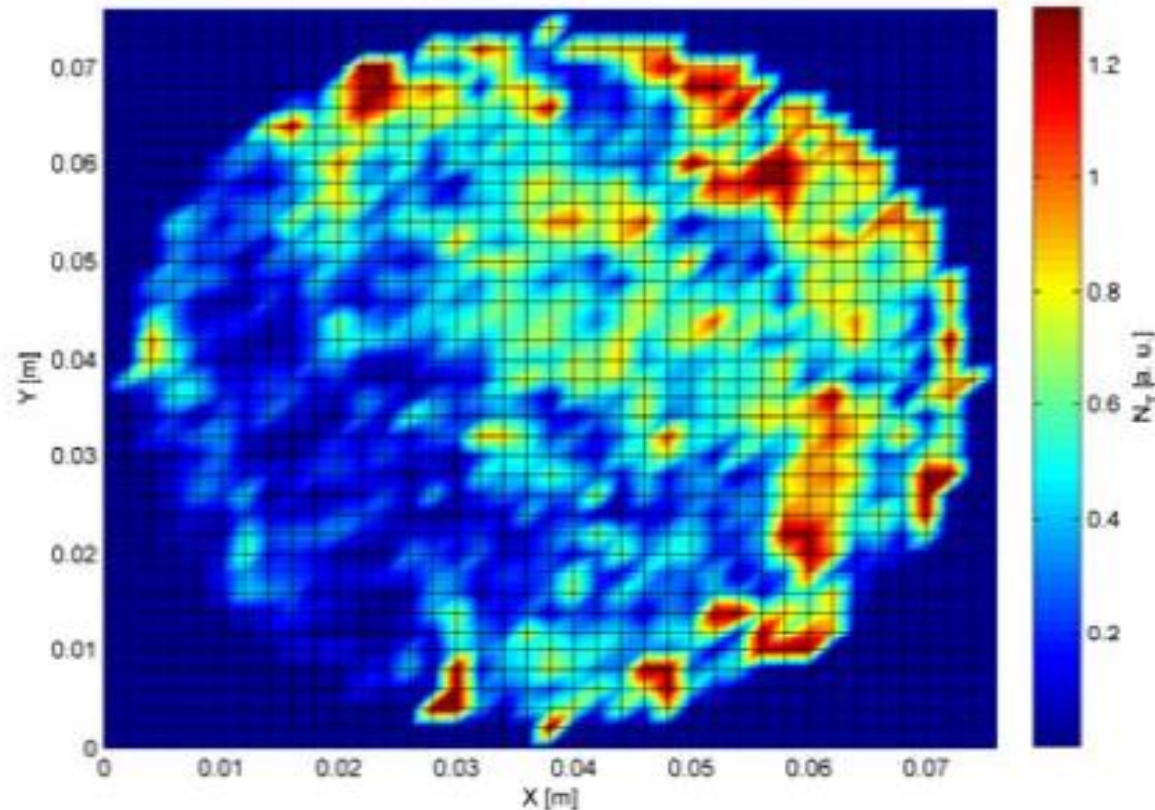
Przykładowe uzyskane wyniki doświadczalne

Rozkład czasów życia nośników w płytce krzemowej metodą MFCA



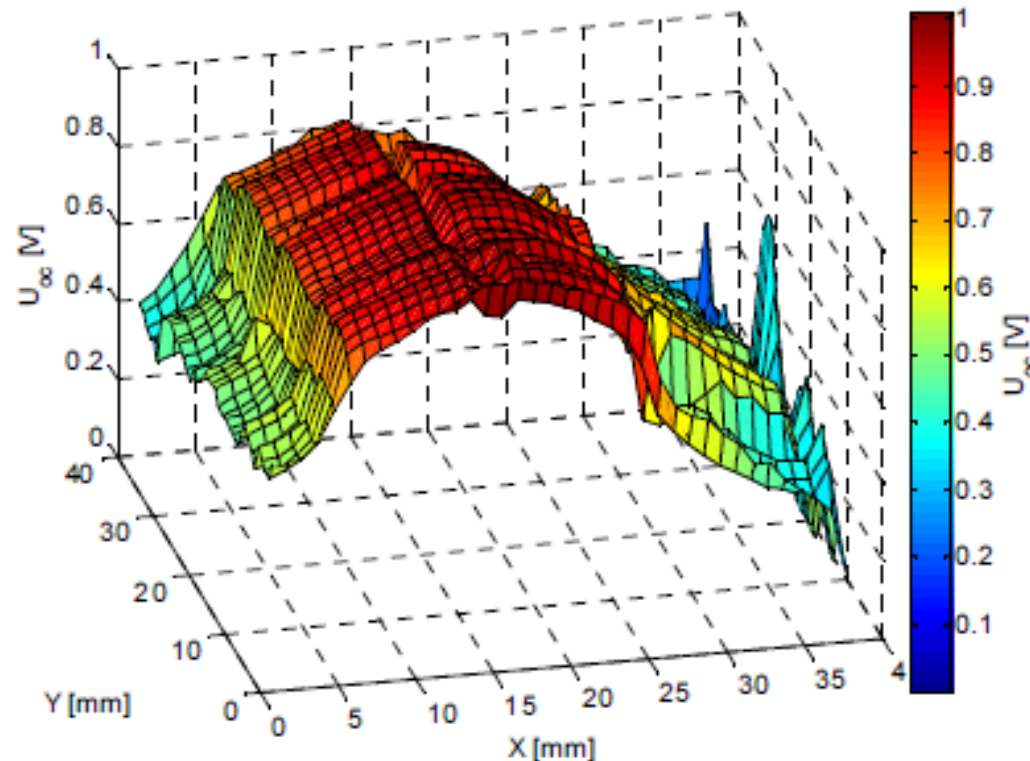
M. Maliński, L. Bychto, Ł. Chrobak, **W. Madej**: *Mapowanie czasu życia nośników w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem techniki modulacji absorpcji na swobodnych nośnikach*, Przegląd elektrotechniczny 9, 113-116, 2015 Lista B

Rozkład koncentracji defektów w płytce krzemowej metodą MFCA



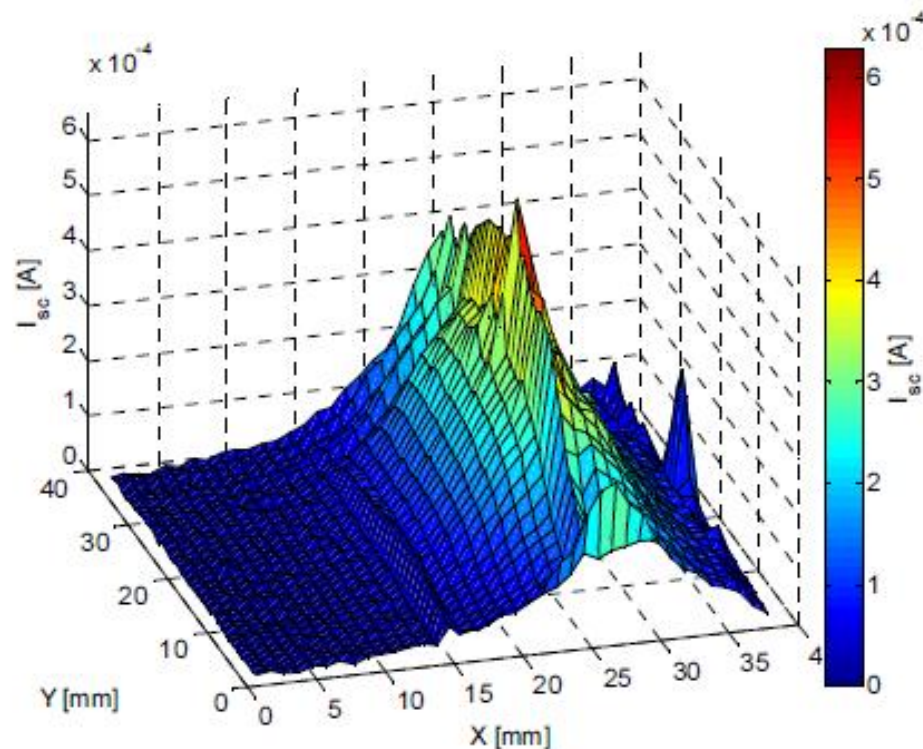
M. Maliński, L. Bychto, Ł. Chrobak, **W. Madej**: *Mapowanie czasu życia nośników w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem techniki modulacji absorpcji na swobodnych nośnikach*, Przegląd elektrotechniczny 9, 113-116, 2015 Lista B

Rozkład powierzchniowy fotonapięcia V_{oc} badanego ogniwa fotowoltaicznego metodą LBIC



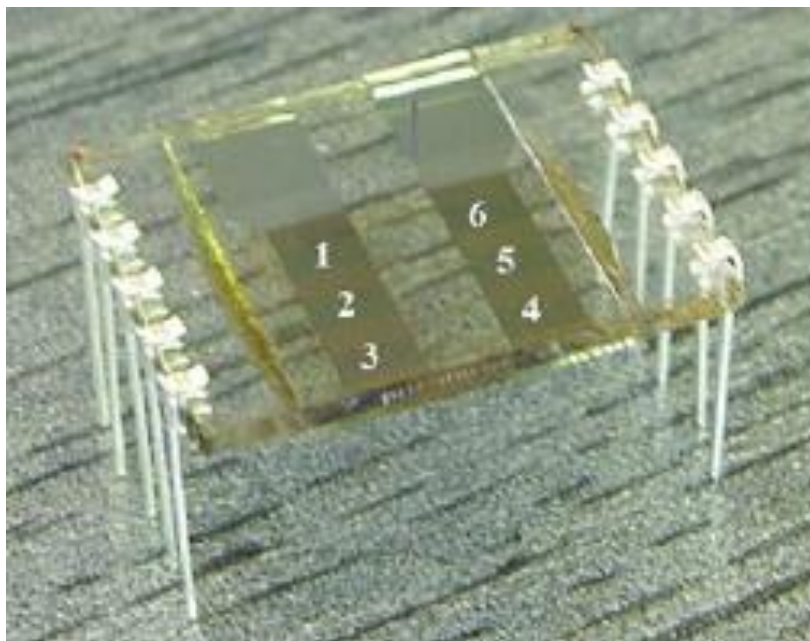
Ł. Chrobak, **W. Madej**, M. Maliński: *Chosen Aspects Of Investigations Of Solar Cells With The Laser Beam Induced Current Technique*, Metrology and Measurement Systems 22 (2), 241-250, 2015 Lista A.

Rozkład powierzchniowy fotoprądu I_{sc} badanego ogniwa fotowoltaicznego metodą LBIC



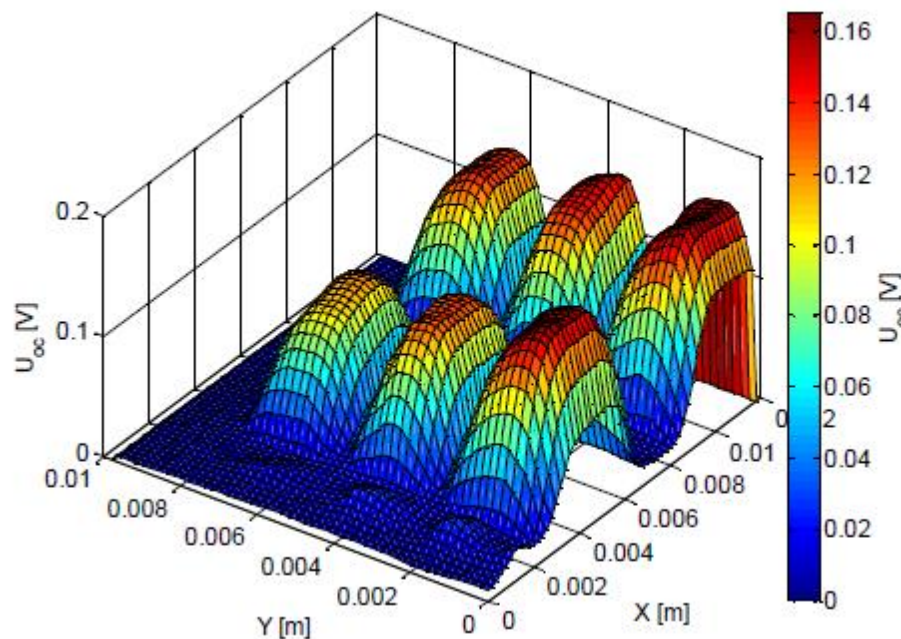
Ł. Chrobak, **W. Madej**, M. Maliński: *Chosen Aspects Of Investigations Of Solar Cells With The Laser Beam Induced Current Technique*, Metrology and Measurement Systems 22 (2), 241-250, 2015 Lista A.

Ogniwa polimerowe badane metodą LBIC



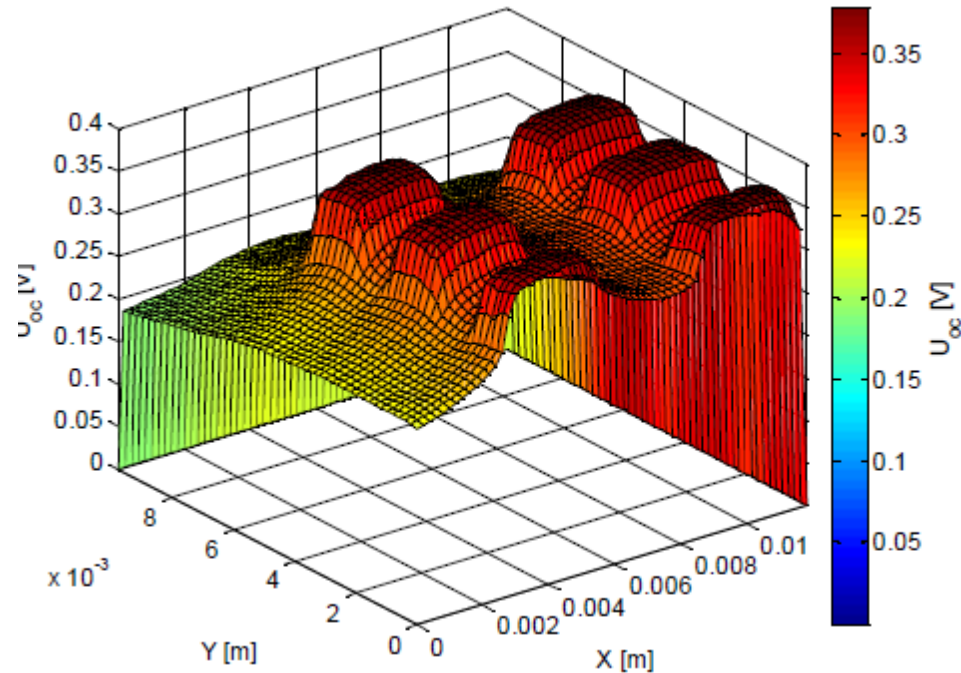
A. Iwan, B. Boharewicz, I. Tazbir, A. Sikora, M. Maliński, Ł. Chrobak, **W. Madej**:
*Laser Beam Induced Current Technique of Polymer Solar Cells Based on
New Poly (Azomethine) or Poly (3-Hexylthiophene)*, Chemical Science
Review and Letters 14, 597-608, 2015 IF.4

Rozkład powierzchniowy fotonapięcia V_{oc} badanego ogniwa fotowoltaicznego metodą LBIC



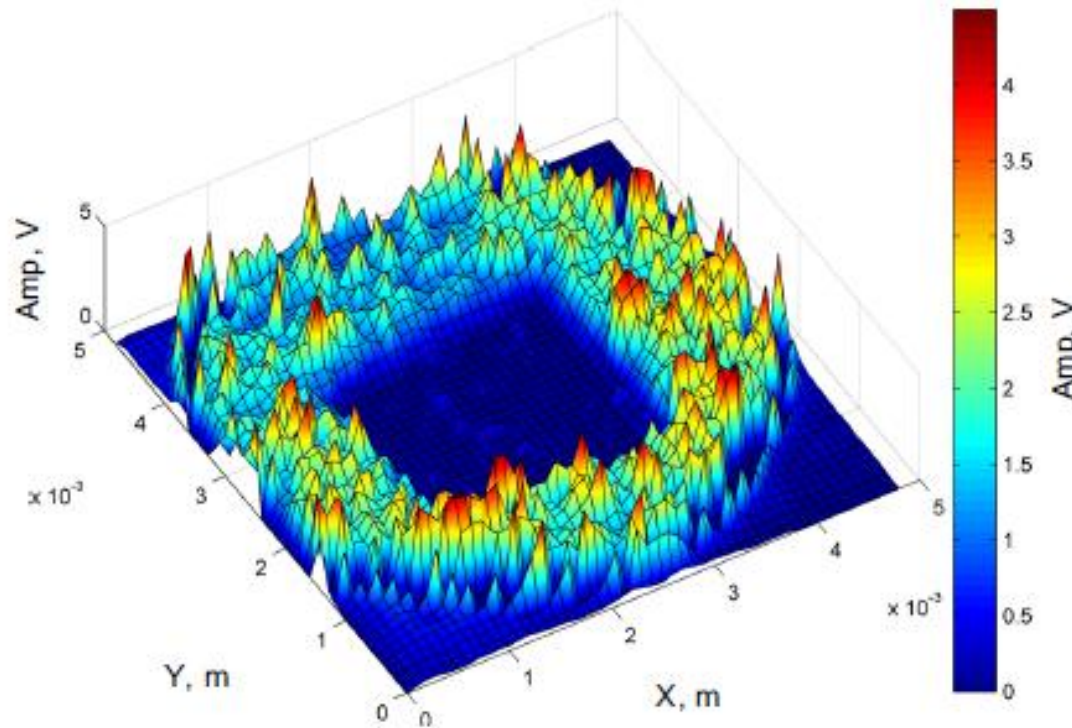
A. Iwan, B. Boharewicz, I. Tazbir, A. Sikora, M. Maliński, Ł. Chrobak, **W. Madej**:
*Laser Beam Induced Current Technique of Polymer Solar Cells Based on
New Poly (Azomethine) or Poly (3-Hexylthiophene)*, Chemical Science
Review and Letters 14, 597-608, 2015 IF.4

Rozkład powierzchniowy fotonapięcia V_{oc} badanego ogniwa fotowoltaicznego metodą LBIC



A. Iwan, B. Boharewicz, I. Tazbir, A. Sikora, M. Maliński, Ł. Chrobak, **W. Madej**:
Laser Beam Induced Current Technique of Polymer Solar Cells Based on New Poly (Azomethine) or Poly (3-Hexylthiophene), Chemical Science Review and Letters 14, 597-608, 2015 IF.4

Rozkład amplitudy sygnału MFCA próbki krzemu implantowanej wysokoenergetycznymi jonami Au^{2+}



M. Maliński, Ł. Chrobak, **W. Madej**, N. Kukharchyk: *Au^{2+} -Implanted Regions in Silicon Visualized Using a Modulated Free-Carrier Absorption Method*, International Journal of Thermophysics 7 (38), 1-7, 2017 Lista A

Zadania planowane do wykonania w trakcie dalszych badań

- a) w przypadku ogniw słonecznych przewiduje się wykonanie pomiarów przestrzennych rozkładów, oprócz napięć i prądów, również wydajności energetycznej i kwantowej ogniw słonecznych z wykorzystaniem metody PTR. Wydajności te wylicza się z pomiarów rozkładu sygnału PTR dla różnych rezystancji obciążenia oraz różnych długości fali światła oświetlającego fotoogniwo.
- b) w przypadku ogniw słonecznych przewiduje się rozbudowę stanowiska do pomiarów rozkładu przestrzennego rezystancji szeregowej i równoległej fotoogniwa.
- c) w przypadku ogniw słonecznych planuje się zastosowanie metody Waldesa do pomiarów drogi dyfuzji nośników z pomiarów profili fotoprądu w wybranych miejscach fotoogniwa.

Zadania planowane do wykonania w trakcie dalszych badań

- d) planowane badania obejmą również wykorzystanie mikrokontrolera do automatycznego sterowania wybranym pomiarem, a także opracowanie aplikacji pozwalającej na wybór punktu pomiaru charakterystyk częstotliwościowych na próbce przez zaznaczenie go kursorem na mapie rozkładu przestrzennego danego sygnału.
- e) planuje się zastosowanie mikrokontrolera do realizacji funkcji wzmacniacza fazoczułego typu lock-in celem zmniejszenia kosztów stanowiska pomiarowego. Obecnie wzmacniacz fazoczuły typu lock-in jest najdroższą częścią składową aparatury.

Podsumowanie

Analiza literaturowa oraz dotychczasowe doświadczenia w obszarze opisanych metod wskazują, iż planowane zadania do wykonania pozwolą na:

- a) rozwinięcie istniejących stanowisk badawczych w kierunku wyznaczania nowych parametrów fizycznych i/ lub charakterystyk takich jak: wydajności energetyczne i kwantowe ogniw słonecznych, ich rezystancji szeregowych i równoległych, drogi dyfuzji nośników w ogniwach słonecznych oraz w materiałach półprzewodnikowych.

Podsumowanie

- b) zautomatyzowanie procesu pomiaru wybranych parametrów fizycznych próbek i struktur szczególnie w obszarze mapowania rozkładu parametrów próbek i struktur, profili liniowych tych rozkładów
- c) obniżenie kosztów stanowisk pomiarowych przez realizację funkcji wzmacniacza lock-in na mikrokontrolerze.
- d) wykonane pomiary na tak rozbudowanych stanowiskach pozwolą na weryfikację modeli matematycznych mierzonych wielkości takich przykładowo jak charakterystyki częstotliwościowe sygnału fototermicznego układów warstwowych typu , przykładowo, zniszczona powierzchnia na idealnym podłożu czy też cienki obszar implantowany na grubym podłożu.

Wykaz publikacji bezpośrednio związanych z prezentowaną tematyką

1. M. Maliński, Ł. Chrobak, **W. Madej**, N. Kukharchyk: *Au²⁺-Implanted Regions in Silicon Visualized Using a Modulated Free-Carrier Absorption Method*, International Journal of Thermophysics 7 (38), 1-7, 2017 Lista A
2. A. Iwan, B. Boharewicz, I. Tazbir, A. Sikora, M. Maliński, Ł. Chrobak, **W. Madej**: *Laser Beam Induced Current Technique of Polymer Solar Cells Based on New Poly (Azomethine) or Poly (3-Hexylthiophene)*, Chemical Science Review and Letters 14, 597-608, 2015 IF.4
3. Ł. Chrobak, **W. Madej**, M. Maliński: *Chosen Aspects Of Investigations Of Solar Cells With The Laser Beam Induced Current Technique*, Metrology and Measurement Systems 22 (2), 241-250, 2015 Lista A.
4. M. Maliński, L. Bychto, Ł. Chrobak, **W. Madej**: *Mapowanie czasu życia nośników w materiałach półprzewodnikowych z wykorzystaniem techniki modulacji absorpcji na swobodnych nośnikach*, Przegląd elektrotechniczny 9, 113-116, 2015 Lista B
5. Ł. Chrobak, **W. Madej**, M. Maliński: *Realizacja stanowiska badawczego do mapowania wydajności prądowej ogniw fotowoltaicznych metodą LBIC*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 6, 2014 Lista B.

Wykaz pozostałych publikacji

1. W. Madej: *Analogowo-cyfrowy rejestrator szybkich obiektów*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 2014 Lista B.
2. P. Poczekajło, W. Madej: *Mikroprocesorowy system sterowania układu imitacji chodu i biegu człowieka*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 56 (9), 24-26, 2015 Lista B
3. W. Madej: *Specialized Digital Prediction System with a Simple Hypothesis of the Target Movement*, International Journal of Control Science and Engineering 3 (2), 31-40, 2013
4. W. Madej, P. Majchrzak: *Zastosowanie mikrokontrolera do sterowania ploterem*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 53 (10), 67-70, 2012 Lista B
5. W. Madej: *Specjalizowany cyfrowy system predykcyjny z ciągłym pomiarem odległości*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 3, 2011L.B.
6. W. Madej: *Radiolokacyjno-komputerowy rejestrator szybkich obiektów*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 51 (9), 84-86, 2010 Lista B
7. W. Madej: *Analiza widma błędów pomiarowych specjalizowanych cyfrowych systemów predykcyjnych*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 51 (1), 56-58, 2010 L. B
8. W. Madej: *Specjalizowany cyfrowy system predykcyjny z prostą hipotezą o ruchu celu*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 2, 2010 Lista B
9. W. Madej: *Measuring Errors' Spectrum of the Artillery Radar Stations*, Defence Science Journal 59 (2), 162, 2009 Lista A
10. W. Madej: *Computations of Coordinates in a Multidimensional Digital Prediction System*, Defence Science Journal 59 (5), 530, 2009 Lista A.
11. W. Madej: *Procedury wyliczania współrzędnych w wielowymiarowym cyfrowym systemie predykcyjnym*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej, 1, 2009 Lista B
12. W. Madej, J. Drabarek: *Realizacja odczytu współrzędnych w specjalizowanym cyfrowym systemie predykcyjnym z wykorzystaniem reprogramowalnych układów cyfrowych*, Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania 49 (11), 179-180, 2008 Lista B

Dziękuję za uwagę