

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Agnieszki Malinowskiej

pt. „*Realna struktura wybranych monokryształów pseudoperowskitów o wzorze ogólnym $ABCO_4$* ”

A. Uwagi wstępne i treść pracy

Badania topograficzne są pomocne w opracowaniu technologii hodowli monokryształów, stawiającej określone warunki na rodzaje i gęstość defektów różnych rodzajów. Spełnienie tych warunków pozwala na wykorzystanie danego kryształu do wybranego celu. Od lat 1950-tych bardzo istotne było znaczenie technik topograficznych w badaniach i diagnostyce podłożowych kryształów półprzewodnikowych, np. krzemowych, hodowanych m.in. metodą Czochralskiego – osiągnięte postępy w jakości kryształów warunkowały postęp w konstrukcji układów elektronicznych. W okresie tym ukształtowały się w Polsce, na Wydziale Fizyki UW i w Instytucie Fizyki PAN grupy badawcze wyspecjalizowane w technikach topografii rentgenowskiej.

W ostatnich dekadach obserwujemy rozwój elektroniki opartej na układach warstwowych (nie tylko półprzewodnikowych), w związku z tym musi się rozwijać też technologia materiałów podłożowych. Obecnie dla różnych celów rozwijane są technologie podłożowych i funkcjonalnych kryształów tlenkowych. Wytwarzanie kryształów tlenkowych o wymaganej jakości strukturalnej stanowi wyzwanie technologiczne – wiąże się z koniecznością uzyskania czystości fazowej i jednorodności chemicznej i strukturalnej, a w przypadku kryształów podłożowych – z problemem doboru podłoża do warstwy i minimalizacji niedopasowania sieciowego. Mgr Agnieszka Malinowska podjęła się zadania zbadania struktury defektowej wybranych kryształów tlenkowych o stechiometrii $ABCO_4$ i powiązania jej z niektórymi parametrami technologicznym procesu wzrostu kryształu.

Praca doktorska mgr Agnieszki Malinowskiej p.t. „*Realna struktura wybranych monokryształów pseudoperowskitów o wzorze ogólnym $ABCO_4$* ” została wykonana w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych z zastosowaniem metod topografii rentgenowskiej i kilku metod uzupełniających, pod kierunkiem prof. Anny Pajączkowskiej (Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych) i prof. Marii Lefeld-Sosnowskiej (Wydział Fizyki UW). Wykonanie badań było możliwe dzięki dostępności do aparatury umożliwiającej prowadzenie badań topograficznych. Praca dotyczy badań struktury defektowej kryształów tlenkowych o formule $ABCO_4$, a konkretnie – kryształów $SrLaGaO_4$ (SLG) i kryształów roztworu stałego $CaNdAlO_4$ - $SrNdAlO_4$ (CNA-SNA); kryształom pierwszego typu poświęcona jest większa część pracy. Pomiarów rentgenowskie wykonano z wykorzystaniem aparatury laboratoryjnej oraz – w mniejszym stopniu – pomiarowej aparatury synchrotronowej w ESRF we Francji. Zrozumienie struktury defektowej badanych materiałów ma istotne znaczenie dla dalszego rozwoju ich technologii i zastosowań. Istotną część wyników została opublikowana w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

B. Struktura rozprawy

Całość rozprawy obejmuje 159 stron druku. Właściwy tekst składa się z 8 rozdziałów i liczy 122 strony (nie licząc spisu treści, streszczeń, bibliografii i załączników) i jest zilustrowany 73 rysunkami. Rozprawa zakończona jest obszerną bibliografią liczącą 149 pozycji.

Praca składa się z ośmiu rozdziałów. Wstęp (rozd. 1, 2 strony), rozdziały 2 (10 stron) i 3 (1 strona), mówiące o badanych materiałach i ich krystalizacji, rozdział 4, stanowiący omówienie typów defektów związanych z niestabilnością procesu wzrostu metodą Czochralskiego (1 str.), rozdział 5 (37 stron) dotyczący zastosowanych metod eksperymentalnych, rozdz. 6 opisujący kryształy, będące przedmiotem badań (4 strony), rozdz. 7 przedstawiający wyniki badań i dyskusję (65 stron) oraz rozdz. 8 zawierający podsumowanie wyników (4 strony). Jako załączniki zostały dodane listy publikacji i prezentacji konferencyjnych, w których mgr Agnieszka Malinowska była autorem lub współautorem.

Rozdział 1 (Wstęp, str. 13 - 14) przedstawia tematykę pracy. Obiektem badanym są wybrane kryształy należące do rodziny tlenków o stechiometrii $ABCO_4$ - zainteresowanie nimi wiąże się z przydatnością na monokrystaliczne podłoża. Rozdział ten zawiera ogólne informacje o problematyce badawczej podjętej w ramach rozprawy, o kryształach $SrLaGaO_4$ i $CaNdAlO_4-SrNdAlO_4$ oraz krótkie uzasadnienie wyboru metod badawczych.

Rozdział 2 (str. 15 - 23) omawia problematykę struktury związków $ABCO_4$, natury ich zdefektowania oraz zagadnienie formowania się roztworów stałych. Autorka podjęła się dokonania charakteryzacji struktury defektowej kryształów $SrLaGaO_4$ i $CaNdAlO_4-SrNdAlO_4$, w powiązaniu z parametrami wzrostu i etapami krystalizacji (natura defektów wiąże się z metodą hodowli) oraz składem chemicznym. Sformułowany został następujący cel rozprawy (cytuję):

„ujawnienie oraz analiza struktury defektowej badanych monokryształów, w szczególności poprzez:

- ✓ charakterystykę typów defektów wzrostowych występujących w kryształach $SrLaGaO_4$ i $CaNdAlO_4-SrNdAlO_4$;
- ✓ określenie mechanizmu powstawania kontrastu dyfrakcyjnego na nieobserwowanych wcześniej defektach w rdzeniu monokryształu $SrLaGaO_4$ krystalizującego w kierunku [001];
- ✓ zaproponowanie prostego modelu deformacji wokół defektów w rdzeniu monokryształu $SrLaGaO_4$ krystalizującego w kierunku [001]”.

Rozdział 3 (str. 24) jest poświęcony omówieniu procesu krystalizacji kryształów stanowiących przedmiot analizy, w szczególności zwięzłemu opisowi ich wykonania metodą Czochralskiego. Aby zbadać powiązanie struktury defektowej z parametrami procesu wzrostu, dla celów pracy doktorskiej opracowano i wykonano specjalny program procesów krystalizacji. Metoda Czochralskiego jest istotnym elementem pracy, a jej technologiczne parametry mają wpływ na strukturę defektową. Rozważania na dalszych stronach byłyby bardziej zrozumiałe dla czytelnika, gdyby w **Rozdz. 3** został zamieszczony choćby krótki opis metody Czochralskiego wzrostu kryształów (a nie tylko odnośnik do ref. 7).

W **Rozdziale 4** (str. 25) omówiono pokrótce zagadnienie natury defektów sieci, wiążących się z procesem krystalizacji metodą Czochralskiego.

Rozdział 5 (str. 26 - 61) zapoznaje czytelnika z eksperymentalnymi technikami zastosowanymi w badaniach przedstawionych w rozprawie. Rozdział ten pełni pożyteczną funkcję wprowadzającą czytelnika w tematykę topografii rentgenowskiej. W szczególności, usystematyzowane i opisane zostały w przystępny sposób różne techniki rentgenowskiej topografii, w tym te dostępne na wykorzystanej dla celów rozprawy linii eksperymentalnej przy synchrotronie w ESRF (Grenoble, Francja). Istotna część badań wykonana została na sprzęcie laboratoryjnym. Przejrzysty sposób przedstawienia materiału w tym rozdziale zasługuje na uznanie. Ponadto opisano w tym rozdziale w skrótowy sposób techniki uzupełniające wykorzystane w badaniach.

W **Rozdz. 5** na stronach 27 i 28 czytamy, że stałe sieciowe kryształów były wyznaczone metodą Rietvelda i metodą Bonda. Jednak w rozprawie informacje o wynikach pomiarów metodą Bonda nie zostały podane (w przeciwieństwie do wyników obliczeń metodą Rietvelda, umieszczonych w Tabeli 7.1). Brak tych wyników wydaje się być ze szkodą dla całości pracy, gdyż dane o wymiarach komórki elementarnej stanowią podstawową informację strukturalną, nawet w przypadku, gdy nie wszystkie stałe można precyzyjnie wyznaczyć, i porównanie danych pochodzących z różnych metod mogłoby być interesujące z punktu widzenia analizy otrzymanych wyników dotyczących struktury defektowej.

W rozdziale tym omówione zostały zastosowane w pracy metody eksperymentalne. Uważam, że praca tego rodzaju nie powinna przemilczać istnienia innych metod, które mogą służyć analizie struktury defektowej. W tym przypadku autorka nie wspomina o rentgenowskiej dyfraktometrii wysokorozdzielczej, która szybko się rozwija w ostatnich dwóch dekadach. W związku z tym brakiem, oczekuję od Autorki odpowiedzi na pytanie, jakie są różnice i podobieństwa w działaniu metod topografii rentgenowskiej i dyfraktometrii wysokorozdzielczej, oraz jakie są wady i zalety obu metod.

W **Rozdziale 6** (str. 62 - 65) podano zestawienie próbek (Tabela 6.1 i 6.2). W związku z tym omówiono procedury przygotowania próbek wyciętych z badanych kryształów.

W **Rozdziale 7** (str. 131 - 134) Autorka szczegółowo przedstawiła i przeanalizowała wyniki swoich badań. Jest to logicznie i przejrzysto zorganizowana, najistotniejsza część rozprawy. Rozdział ten jest podzielony na podrozdziały omawiające wyniki otrzymane dla grup kryształów według ich składu chemicznego, struktury i kierunku wzrostu. Dla każdej grupy szczegółowo przeanalizowano zaobserwowane kontrasty dyfrakcyjne i powiązano strukturę defektową kryształów z parametrami technologicznymi i określonym przez orientację zarodka kierunkiem wzrostu. Opisano m.in. rodzaje defektów rozciągłych i obserwowaną w zewnętrznej strefie kryształów SrLaGaO_4 defektową strukturę komórkową. Elementem rozdziału są liczne starannie opracowane rysunki ilustrujące z natury złożony opis stanu zdefektowania.

W **podrozdziale 7.1** Autorka zajęła się wynikami badań kryształów $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$. Analizy pokazały, że jakość kryształów rośnie z zawartością strontu i powiązano deformację sieci z pasmami segregacyjnymi i z kształtem frontu krystalizacji.

W **podrozdziale 7.2** obszernie opisano wyniki pomiarów i analiz dla kryształów SrLaGaO_4 . Istotne różnice występują między jakością kryształów rosnących w kierunku [100] i [001], na korzyść tych pierwszych. Charakterystyczne dla kryształów rosnących w kierunku [001] jest występowanie znacznych różnic w strukturze defektowej między rdzeniem a strefą zewnętrzną kryształu. Zaobserwowano też wpływ składu atmosfery w piecu na strukturę defektową. Niejednorodność chemiczna przejawia się w różnicach między składem fazowym obu wspomnianych stref i zawartością strontu.

W Rozdz. 7 Autorka przedstawia własne wyniki. We wcześniejszych rozdziałach wspomina, że autorzy innych prac nie zajmowali się szczegółowo podobnymi zagadnieniami, jednak wśród zagadnień pokrewnych wzmiankuje (na str. 13 i str. 22) wcześniejsze badania np. defektów punktowych. Na str. 24 wspomniano o powiązaniu barwy kryształów SrLaGaO_4 z defektami punktowymi. Szkoda, że w ramach dyskusji nie zostały uwzględnione wyniki takich prac, umożliwiłoby to całościowe spojrzenie na zagadnienie struktury defektowej tlenków ABCO_4 i byłaby widoczna nowatorskość wyników opisanych w pracy doktorskiej i w związanych z tą pracą publikacjach współtworzonych przez mgr. Agnieszkę Malinowską.

Omawiany rozdział łączy wyniki z dyskusją. Wartość analizy byłaby większa, gdyby na końcu rozdziału albo w osobnym rozdziale Autorka przeprowadziła dyskusję całościową otrzymanych wyników z uwzględnieniem literatury. Taka nawet niewielka sekcja pomogłaby w uwypukleniu wartości prezentowanych wyników i w pokazaniu ich nowatorskości.

Rozdział 8 (str. 131 - 134) podsumowuje wnioski z pracy i zawiera uwagi końcowe. W rozdziale tym zwięźle i w przejrzysty sposób streszczono opisane w **Rozdz. 7** wyniki pracy. Podsumowanie wyników skupia się na głównym nurcie badań, tzn. na wynikach dla związku SrLaGaO_4 . W zakończeniu rozdziału Autorka uzasadnia brak w rozprawie pewnych potrzebnych z jej punktu widzenia badań – nie mogła ich wykonać z powodu niedostępności odpowiednich monokrystalicznych próbek. W mojej ocenie rodzaj i liczba próbek są wystarczające dla prezentacji otrzymanych wyników w formie spójnej pracy doktorskiej.

Przeczytanie zawierającego podsumowanie badań **Rozdz., 8** pozostawia pewien niedosyt.

Po pierwsze, w podsumowaniu wyniki otrzymane dla kryształów i $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$ omówiono w sposób pobieżny; uważam, że rozdział ten powinien zawierać najważniejsze informacje o rezultatach otrzymanych dla tego materiału, nawet gdyby ich naukowe znaczenie było mniejsze.

Po drugie, Autorka nie podkreśla w Podsumowaniu (i w zakończeniu **Rozdz. 7**) istotności własnych wyników na tle innych prac, istotności wynikającej, m.in.:

- z określenia własności materiałów, mogących mieć zastosowanie nowoczesnej technologii układów warstwowych,
- z podjęcia się kompleksowych badań defektowej struktury kryształów SrLaGaO_4 i $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$ – badania o takim charakterze nie zostały dotąd podjęte przez inne grupy badawcze.

Obowiązkiem recenzenta jest zgłoszenie zauważonych drobnych pomyłek i usterek językowych i terminologicznych. Lista zauważonych błędów została podana w Aneksie. Lista ta liczy ok. 20 pozycji, jednak uwagi te mają znaczenie marginalne.

C. Ocena wyników naukowych i ich interpretacji

Zastosowanie nowoczesnych podłoży jest istotnym elementem postępu w zastosowaniach układów cienkowarstwowych. Niektóre tlenki z rodziny ABCO_4 charakteryzują się korzystnymi cechami takimi jak dobre dopasowanie sieciowe w stosunku do znanych tlenkowych materiałów nadprzewodnikowych.

Rozprawa doktorska mgr Agnieszki Malinowskiej obejmuje szczegółową analizę struktury defektowej wybranych monokryształów ABCO_4 , poprzedzoną przystępnym opisem metod topograficznych. Wśród celów pracy wymieniono analizę struktury defektowej badanych kryształów SrLaGaO_4 i $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$ oraz analizę natury deformacji sieci w próbkach SrLaGaO_4 . Podjęcie badań kryształów SrLaGaO_4 i $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$ zostało

przez Autorkę umotywowane potrzebą uzyskania powtarzalnej technologii wytwarzania, koniecznej dla wykorzystania ich możliwości aplikacyjnych jako materiałów podłożowych. Stworzenie takiej technologii wymaga zrozumienia struktury defektowej, co pozwala na podjęcie pracy nad optymalizacją procesu wzrostu w celu zredukowania gęstości defektów. W literaturze nie podjęto wcześniej tego rodzaju badań, z wyjątkiem publikacji, w których autorem (zwykle pierwszym) była mgr Agnieszka Malinowska.

D. Ocena dorobku naukowego

Mgr Agnieszka Malinowska ma w dorobku 24 prace recenzowane i 13 raportów HasyLab. Zajmuje się badaniami kryształów SrLaGaO_4 i $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$ od kilkunastu lat. Pierwsze wyniki przedstawiała na Sympozjum Instytutu Fizyki UW w 2004 r. i jako współautorka pracy w *Journal of Alloys and Compounds* w 2005 roku. W sumie publikacji recenzowanych, dotyczących materiałów SrLaGaO_4 i $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$, ma w dorobku 9, w tym 6 poświęconych wyłącznie tym kryształom. Tych sześć najważniejszych prac ukazało się w czasopismach *Journal of Alloys and Compounds* (2005), *Journal of Crystal Growth* (2006, 2008), *Acta Physica Polonica A* (2008), *Physica Status Solidi A* (2009) i *Journal of Applied Crystallography* (2013). Prace te mają w Google Scholar łącznie 39 cytowań (6.5 cytowania na publikację). W pięciu z nich (oprócz na początku wymienionej najwcześniejszej) jest pierwszym autorem, co świadczy o jej wiodącej roli w tej tematyce. Tematyka pracy doktorskiej przedstawiana była przez mgr Agnieszkę Malinowską na licznych konferencjach naukowych. Mgr Agnieszka Malinowska jest też pierwszym autorem w pracach na temat struktury defektowej monokryształów z rodzin granatów i ortowanadanów.

E. Podsumowanie recenzji

Mgr Agnieszka Malinowska osiągnęła w rozprawie wyznaczone cele związane z analizą struktury defektowej monokryształów ABCO_4 . W swojej rozprawie zawarła obszerny materiał, w którym wykorzystала właściwie dobraną metodykę pomiarową. Autorka rozprawy wykazała się zdolnościami eksperymentalnymi i wiedzą w dziedzinie przedmiotu badań. Otrzymane dane eksperymentalne zostały wnikliwie przeanalizowane w oparciu o dostępną wiedzę z dziedziny teorii dyfrakcji. Na szczególne uznanie zasługuje staranna analiza struktury defektowej, uwzględniająca defekty różnego rodzaju i ich zależność od parametrów hodowli kryształów. Uzyskane wyniki eksperymentalne i ich interpretację uważam za wartościowe. Rozprawa napisana jest poprawnym i zrozumiałym językiem, a usterki są nieliczne i mają drugorzędne znaczenie.

W mojej opinii, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom merytoryczny, a opisane wyniki stanowią istotny krok naprzód w zrozumieniu struktury defektowej kryształów ABCO_4 . Cele naukowe, sformułowane na początku rozprawy, zostały osiągnięte. Mgr Agnieszka Malinowska we właściwy sposób zrealizowała szeroki program badawczy, umiejętnie planując i prowadząc eksperymenty laboratoryjne i synchrotronowe, oraz dokonując starannej interpretacji danych eksperymentalnych.

Uwagi krytyczne zawarte w niniejszej recenzji i drobne usterki o charakterze głównie językowym nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy ani nie umniejszają jej wartości.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa zawiera oryginalne wartościowe wyniki badań naukowych i spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, i stawiam

wniosek do Rady Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Autorki rozprawy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc od uwagę wysoki poziom merytoryczny pracy i fakt, że fragmenty rozprawy ukazały się w sześciu artykułach, w których udział autorki był wiodący, w renomowanych czasopismach wnoszę o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr Agnieszko Malinowskiej.



Wojciech Paszlowicz

ANEKS. Usterki terminologiczne i językowe

Drobne uwagi dotyczące terminologii i języka pracy.

<i>lokalizacja</i>	<i>Treść uwagi</i>
uwaga ogólna	<p>Jako stechiometrię danego związku określamy zwykle idealny skład wyrażony stosunkiem liczb całkowitych. Przy takiej definicji można w sposób spójny mówić o składzie stechiometrycznym, niestechiometrycznym lub o odchyłce od stechiometrii. Autorka nie zawsze konsekwentnie używa tego pojęcia.</p> <p>Dwa przykłady:</p> <p>na str. 20. Jest: „o różnej stechiometrii jonów wapnia i neodymu”. Do tego wyrażenia mam dwa komentarze:</p> <ul style="list-style-type: none">- w wyrażeniu tym powinny występować jony wapnia i strontu, nie neodymu;- wyrażenie to odnosi się do przypadku kryształów roztworu $\text{CaNdAlO}_4\text{-SrNdAlO}_4$ i powinno brzmieć: „o różnych proporcjach wapnia i strontu” prościej jest w tym kontekście (tu i w dalszych rozdziałach) określać związek jako posiadający stechiometrię 1:1:1:4 i mówić o proporcji składników Ca i Sr w strukturze roztworu stałego, zamiast o stechiometrii <p>na str. 132. Jest: „zmiany parametru sieci wywołane wahaniami stechiometrii”.</p> <p>Powyższe wyrażenie można zastąpić np. przez:</p> <p>„zmiany parametru sieci wywołane wahaniami/niejednorodnością zawartości składników roztworu stałego”</p>
bibliografia i załączniki	<p>Z punktu widzenia organizacyjnego niewłaściwe jest numerowanie referencji rozprawy w ten sam sposób, co prac publikowanych przez autorkę i prac prezentowanych na konferencjach.</p>
str. 20	<p>„substrakcyjny”, prawidłowo: „subtrakcyjny”</p>
str. 24	<p>pierwsze zdanie rozdz. 3 jest zbędne, nie wnosi nic istotnego, gdyż z góry było określone (zob. rozdz. 2.4), że (a) podłożowe kryształy ABO_4 analizowane w pracy zostały wykonane metodą Czochralskiego, metodą, dla której nie ma alternatywy, i (b) zbadanie tak hodowanych kryształów było celem pracy</p>
str. 24	<p>jest „w Instytucie Fizyki Pan”, winno być: „w Instytucie Fizyki PAN”</p>
str. 25 i dalsze	<p>jest: „przechłodzenie konstytucjonalne”</p> <p>polski termin dla „constitutional supercooling” brzmi: „przechłodzenie stężeniowe”</p>
str. 27	<p>jest: „wykonano dodatkowo metodą Bonda pomiary tych wartości punktowo z pewnym krokiem”</p> <p>winno być: „wykonano dodatkowo metodą Bonda pomiary tych wartości punktowo z wybranym krokiem”</p>
str. 45 i dalsze	<p>jest: „wysoko-kątowy”, winno być: „wysokokątowy”</p>
str. 45	<p>jest: „wysoko-monochromatyczna”</p> <p>lepiej: „niemal monochromatyczna” (ew. „prawie monochromatyczna”)</p>

str. 53	jest: „najpopularniejszą jest chyba metoda Rietvelda” lepiej byłoby napisać, że dla danego celu „stosuje się najczęściej metodę Rietvelda”
str. 54	jest: „programu XRAYAN napisanego w 2006 przez H. Marciniaka, R. Diduszko i M. Kozaka” uwaga: program ma dłuższą historię (powstał nie później niż w 1991 r., data 2006 dotyczy kolejnej wersji); zespół autorów zapewne nie był z początku identyczny
str. 67	„mogą być spowodowane pewnymi wahaniami parametrów wewnątrz kryształu” lepiej: „mogą być spowodowane pewnymi wahaniami składu kryształu”, ponieważ parametr jest wielkością wtórną
str. 67, 85, 98	użyte jest specjalistyczne pojęcie „obszaru (wzrostu) ściankowanego” (wiadomo, że odpowiada ono angielskiemu pojęciu „faceted region (growth)”); znaczenie pojęcia „obszaru (wzrostu) ściankowanego” powinno zostać w sposób jasny w pracy wyjaśnione
str. 83	jest: „zdjęcia cyfrowe”, powinno być: „fotografie”; jest: „podwójny rdzeń” – sformułowanie niejednoznaczne
str. 91, 133	jest: „faza ortorombowa”, powinno być: „faza rombowa” lub (lepiej) „faza o strukturze rombowej”, jeśli o tej fazie mówi się po raz pierwszy
str. 102	jest: „są”, winno być: „występują”
str. 103	pierwsze zdanie trzeciego akapitu zawiera powtórzenia w treści
str. 112	występuje tu zwrot „kierunek prostopadły do ściany defektów”; użycie tego sformułowania w tym miejscu wydaje się nieuprawnione skoro o „ścianach/ściankach” defektów mowa jest dopiero na str. 129 i dalej
str. 128	jest: „współczynnik jest mniejsze”, winno być: „współczynnik jest mniejszy”
str. 131	jest: „zrealizowana praca”, w danym kontekście lepiej brzmi: „zrealizowane badania”
str. 134	jest: „większość było”, winno być: „większość była”
str. 138	w ref. 44 powinno być „Zhang”
