

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Nowoczesne pokrycia barierowe na krytyczne części silnika

Modern barrier covers on critical engine parts

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Uniwersytet Rzeszowski

Wyniki badań Results

Ciepłe powłoki barierowe EB-PVD TBC - dyfuzyjne powłoki aluminidkowe modyfikowane palladem i platyną

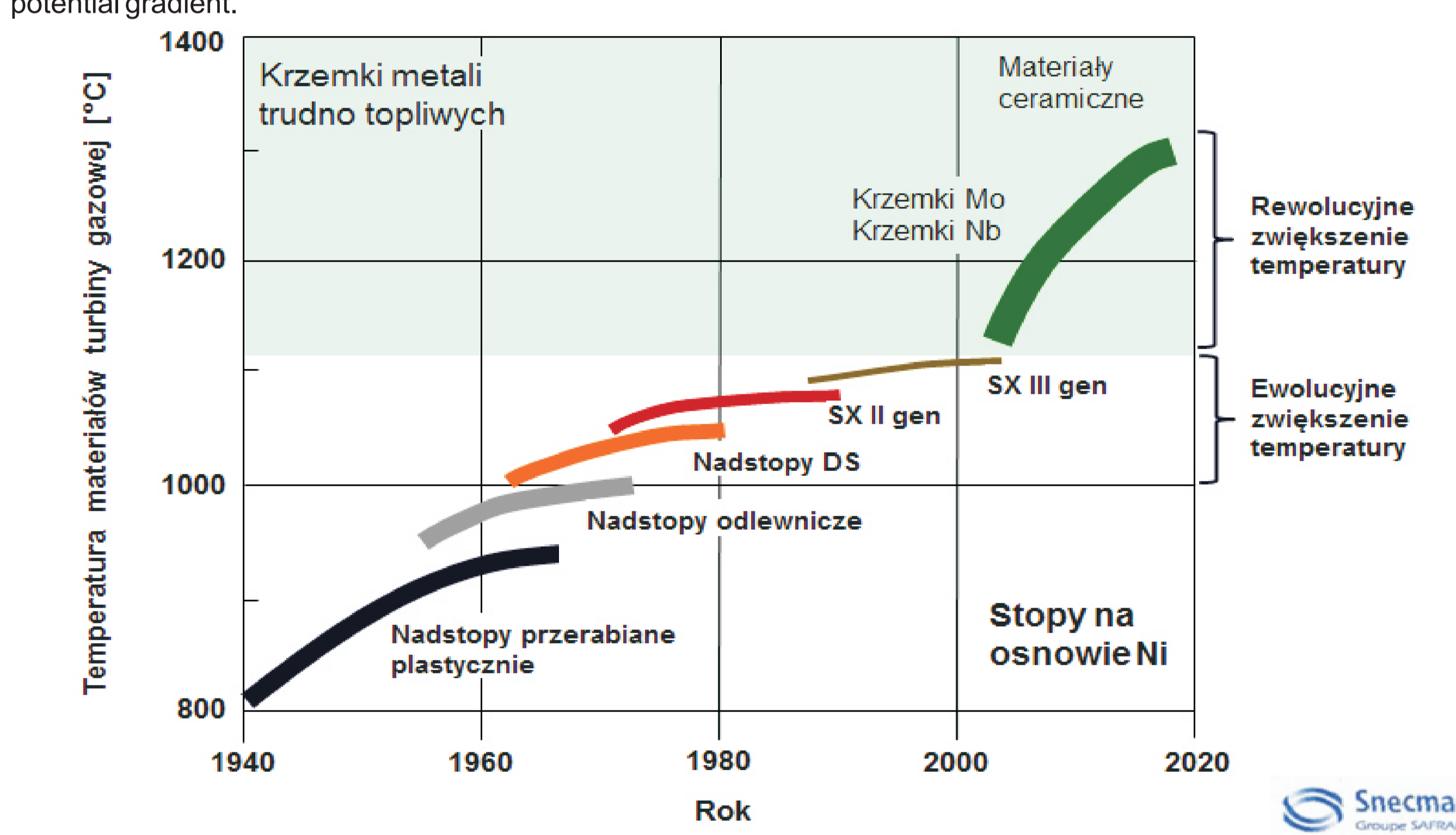
Bond coatings for EB-PVD TBCs - Platinum and palladium modified aluminide coatings

Rozwój wysokowytrzymałych materiałów od początku był przedmiotem zainteresowania przemysłu lotniczego. Potencjalnym tworzywem dla zastosowań wysokotemperaturowych są stopy na osnowie faz międzymetalicznych, materiały kompozytowe oraz stopy na osnowie niobu. W wielu przypadkach tworzywa te stanowią unikalne połączenie wysokiej odporności na korozję gazową, znaczny moduł sprężystości i niską gęstość w porównaniu do następstw niklu. Ze względu na możliwe zastosowanie, wynikające z wysokiej wytrzymałości oraz temperatury topnienia, odporności na korozję a także niskiej masy właściwej, szczególnie zainteresowanie wzbudzają aluminidki metali przejściowych, a w szczególności aluminidki niobu [1,2]. Zastosowanie aluminidków tytanu i niklu zazwyczaj jest ograniczone do temperatury poniżej 1000°C, podczas gdy aluminidki niobu mogą być stosowane nawet przy temperaturze powyżej 1200°C [3].

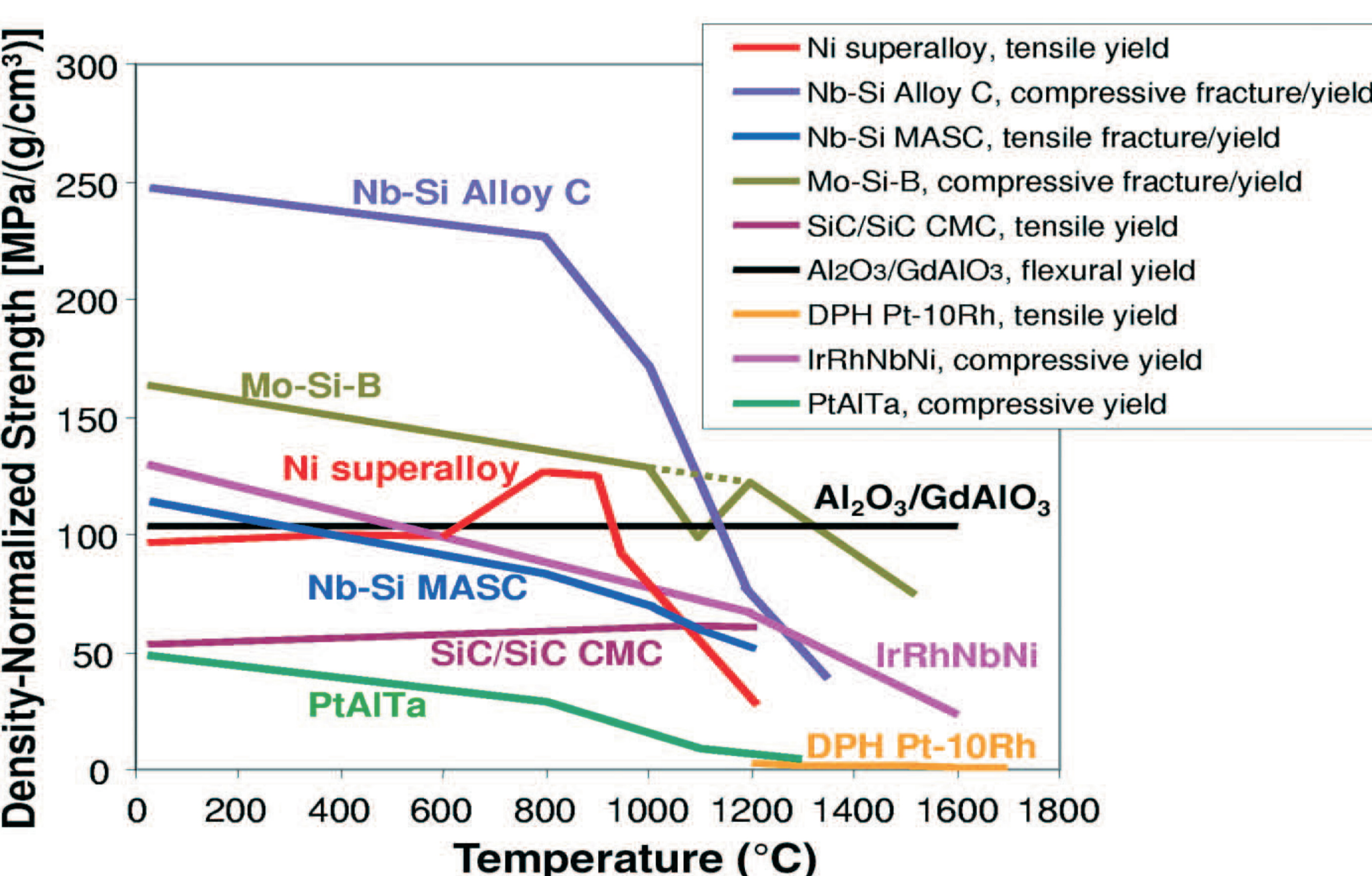
Najczęściej stosowanymi międzywarstwami dla powłokowych barier ciepłych EB-PVD TBC są dyfuzyjne powłoki aluminidkowe modyfikowane Pt, które zapewniają bardzo dobrą odporność na utlenianie wysokotemperaturowe. Jednak ze względu na wysoki koszt Pt poszukuje się alternatyw zapewniających porównywalną trwałość z równoczesnym obniżeniem kosztów wytwarzania. Obiecującym rozwiązaniem jest częściowe zastąpienie platyny palladem, który jest dwukrotnie tańszy i zapewnia wzrost żaroodporności powłok aluminidkowych. Przeprowadzono analizę mikrostruktury po 1100 jednogodzinnych cyklach w 1100°C z wykorzystaniem metody FEG-SEM. Zastosowano nieniszczącą metodę skanowania optycznego 3D do makroskopowej analizy degradacji powłoki TBC podczas cyklicznego utleniania. Wzrost oraz przemiany w warstwie tlenkowej TGO zostały szczegółowo scharakteryzowane metodami STEM oraz FIB. Podczas testu cyklicznego utleniania warstwa TGO wzrastała w postaci kolumnowych ziarn z jonową segregacją pierwiastków reaktywnych (Y i Hf) na skutek gradientu potencjału chemicznego tlenku.

The development of high strength material from the beginning has been of interest to the aerospace industry. A potential material for high temperature applications based alloys are intermetallic phases, composite materials and niobium based alloys. In many cases, these materials provide a unique combination of high gas corrosion resistance, high elastic modulus and a low density in comparison to nickel superalloys. Due to the possible application as a result of high strength and melting points, corrosion resistance and a low specific mass, specific attention is drawn aluminides of transition metals, especially a niobium aluminides [1,2]. The use of titanium and nickel aluminides is typically limited to a temperature below 1000°C, while the niobium aluminides may be used even at temperatures above 1200 °C [3].

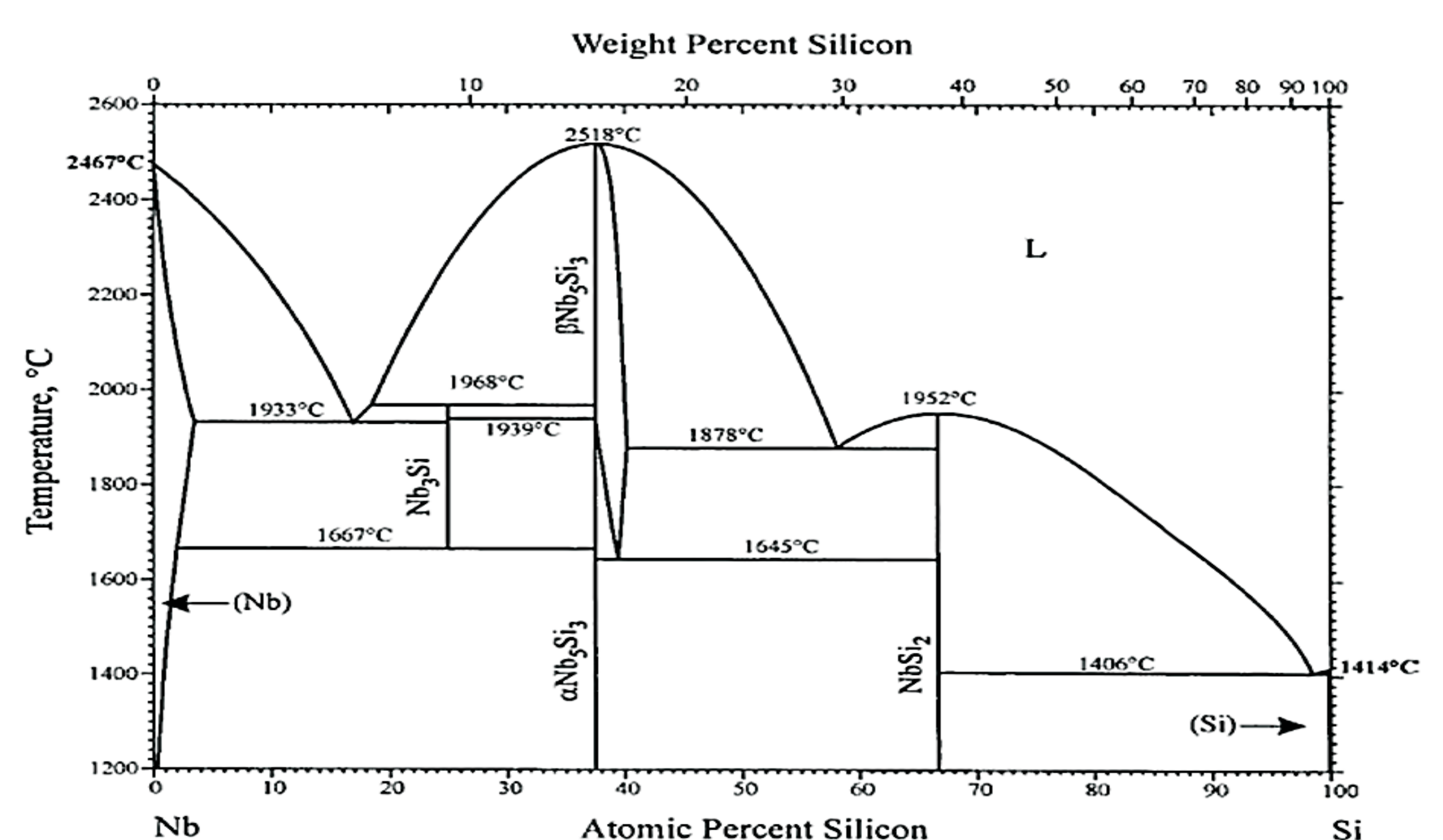
Most commonly applied bond coatings for EB-PVD TBCs are Pt-modified aluminide coatings which provide excellent high temperature oxidation resistance. However, due to high cost of Pt new alternatives are sought for providing comparable performance with simultaneous cost reduction. A very promising solution consists in partial replacement of Pt with Pd which is two times cheaper and provides similar enhancements to the durability of the modified aluminide coatings. The microstructure of the coating after 1100 h cycles at 1100°C is characterized using FEG-SEM. A non-destructive 3D optical scanning method was applied for a macroscopic evaluation of the TBC degradation during thermal cycling. The growth and evolution of the Thermally Grown Oxide was characterized in detail using STEM and FIB methods. During the cyclic oxidation test the Thermally Grown Oxide grew to form columnar grains with ionic grain boundary segregation of Reactive Elements (Y and Hf) in the oxygen potential gradient.



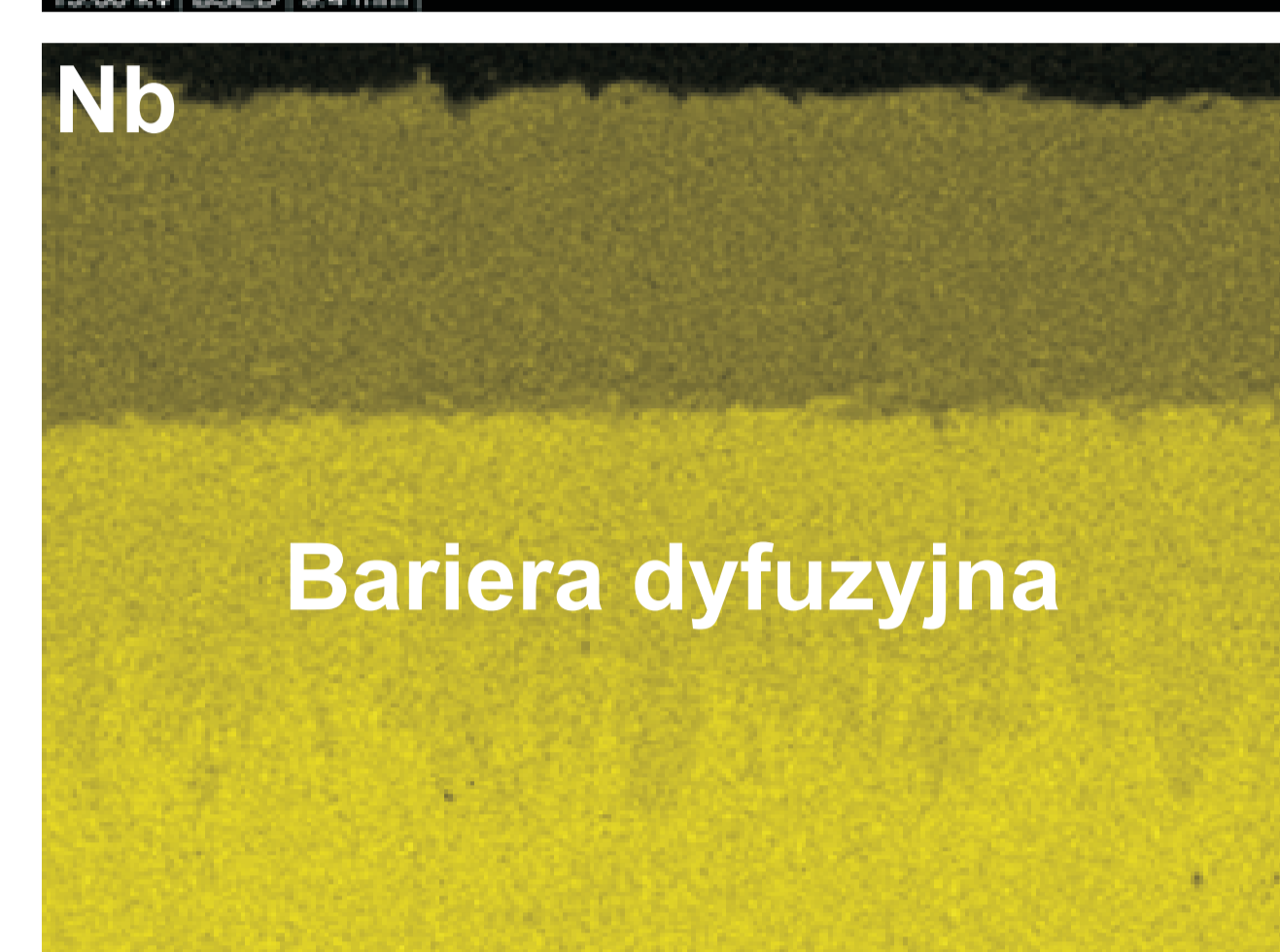
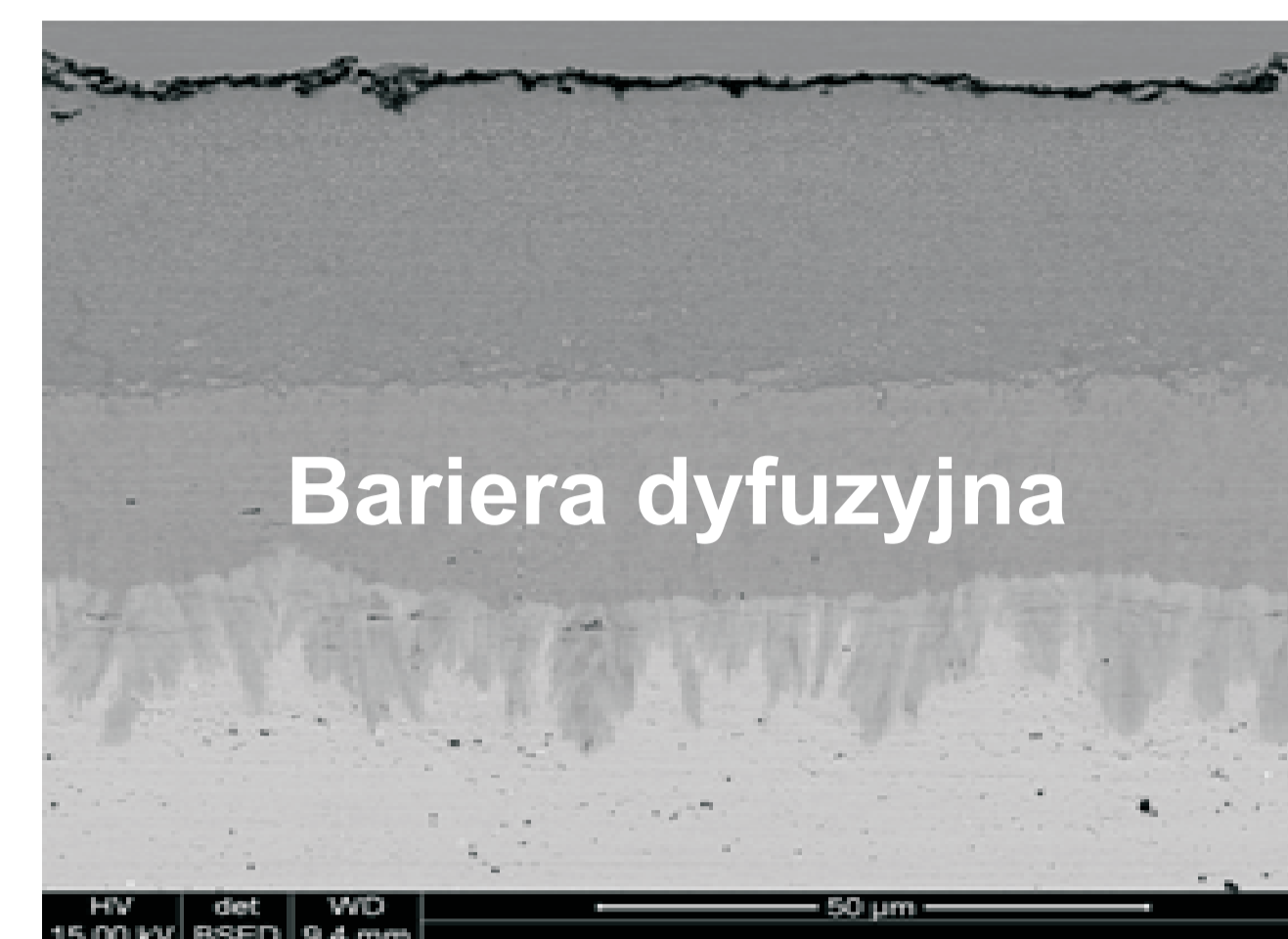
Rozwój materiałów determinowany wzrostem temperatury pracy elementów turbiny
The development of materials determined by increasing temperature turbine components



Wykres zależności wytrzymałości właściwej stopów od temperatury
Specific strength dependence on temperature diagram



Układ równowagi Nb - Si
Nb - Si phase diagram

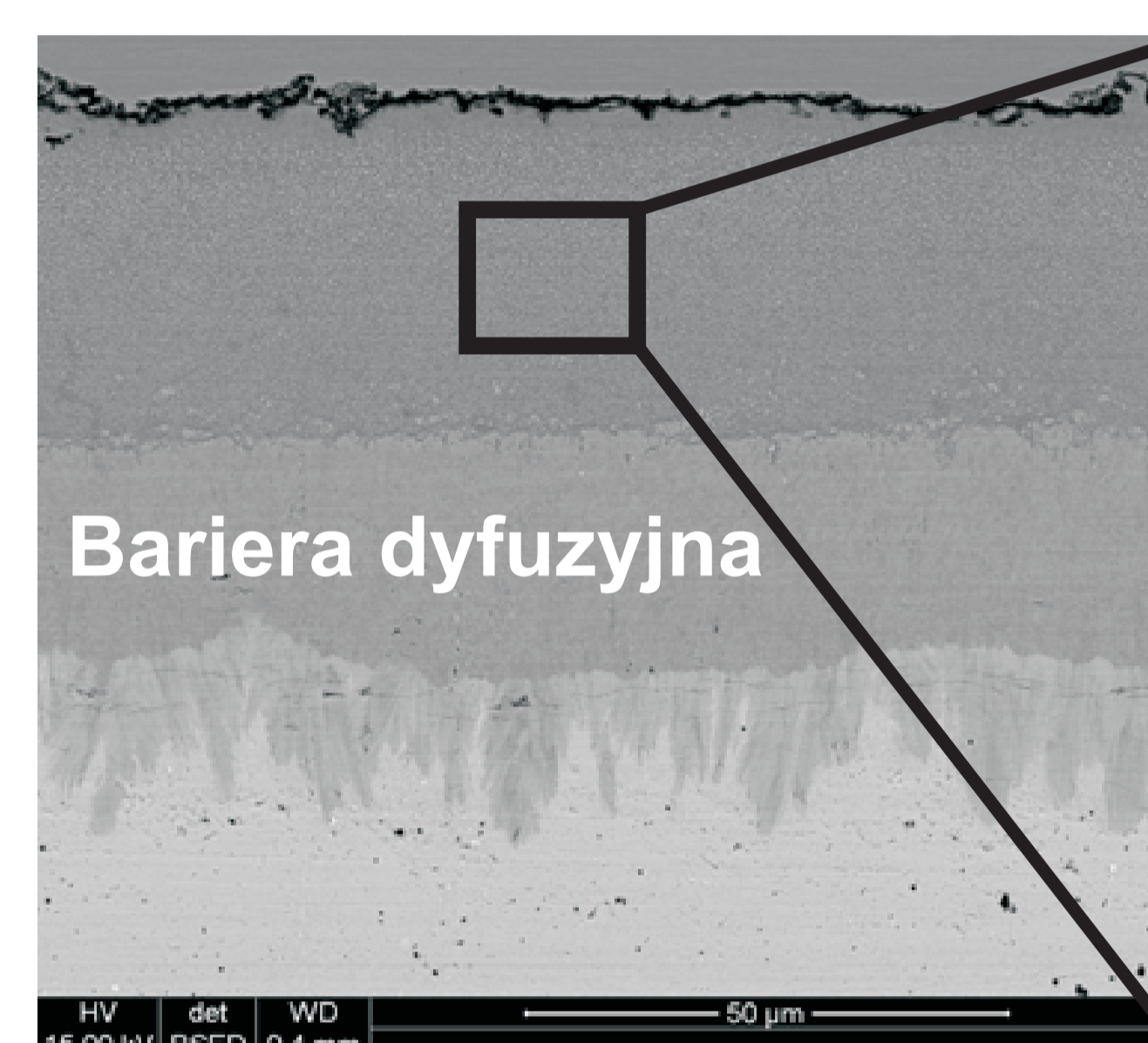


Bariera dyfuzyjna



Bariera dyfuzyjna

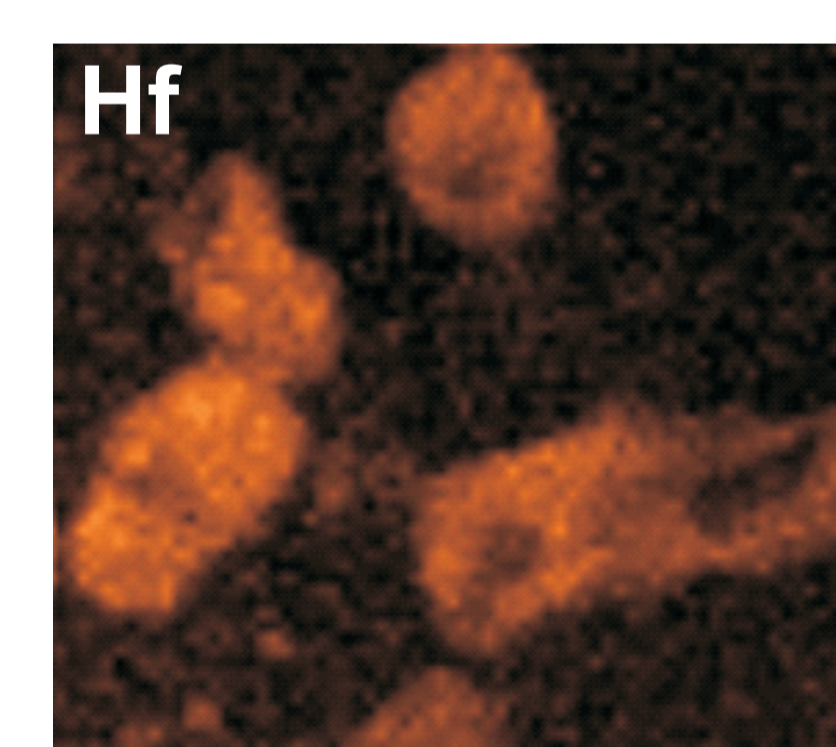
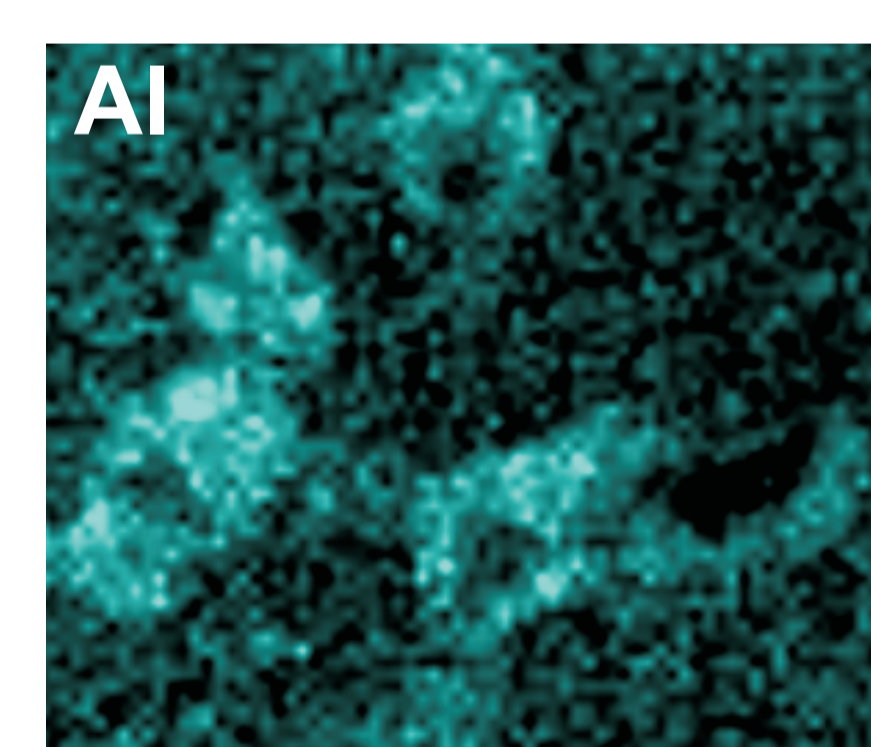
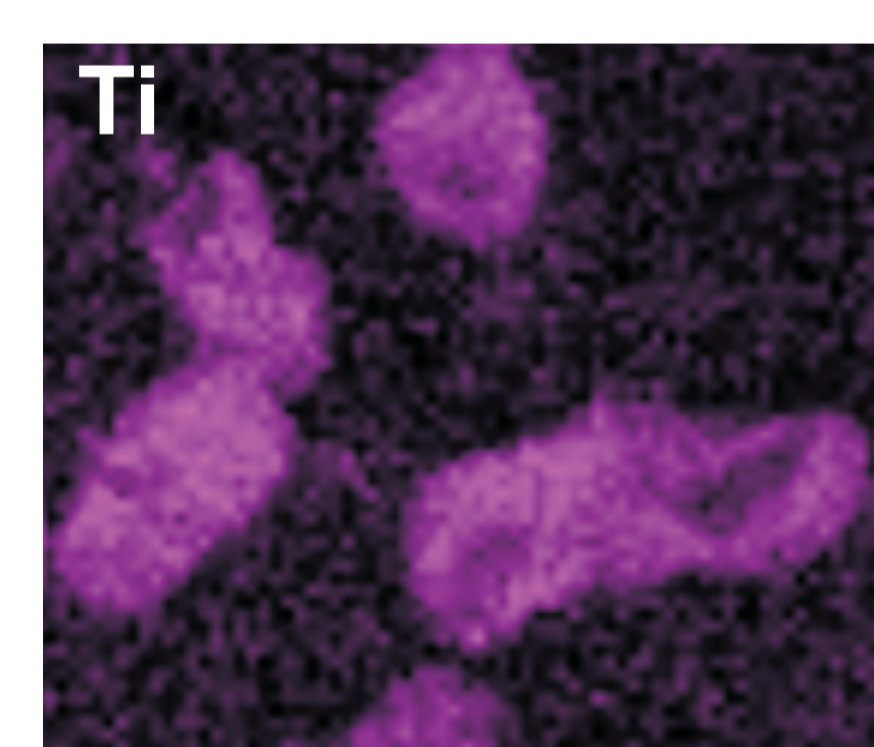
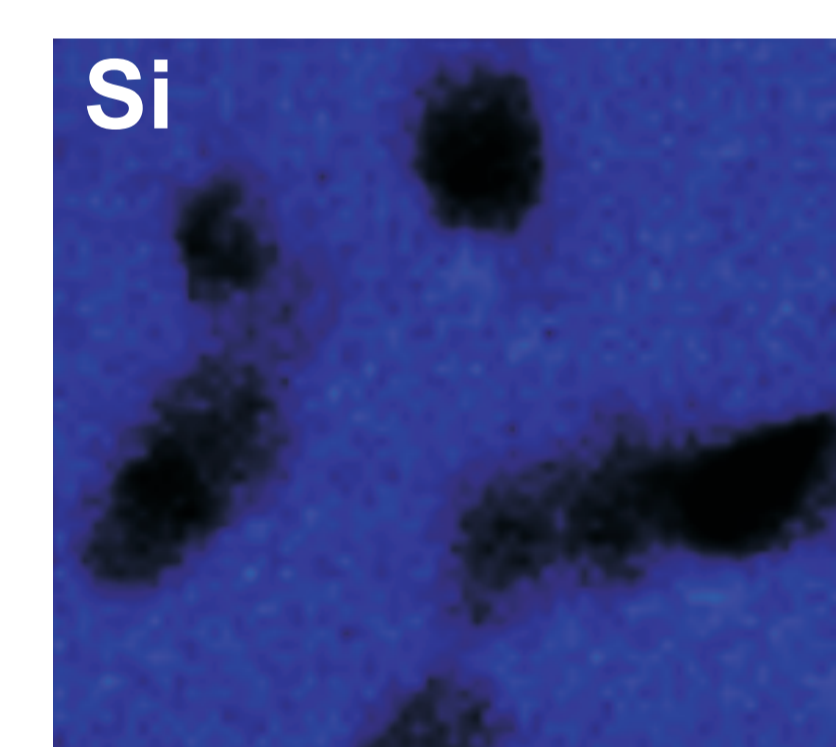
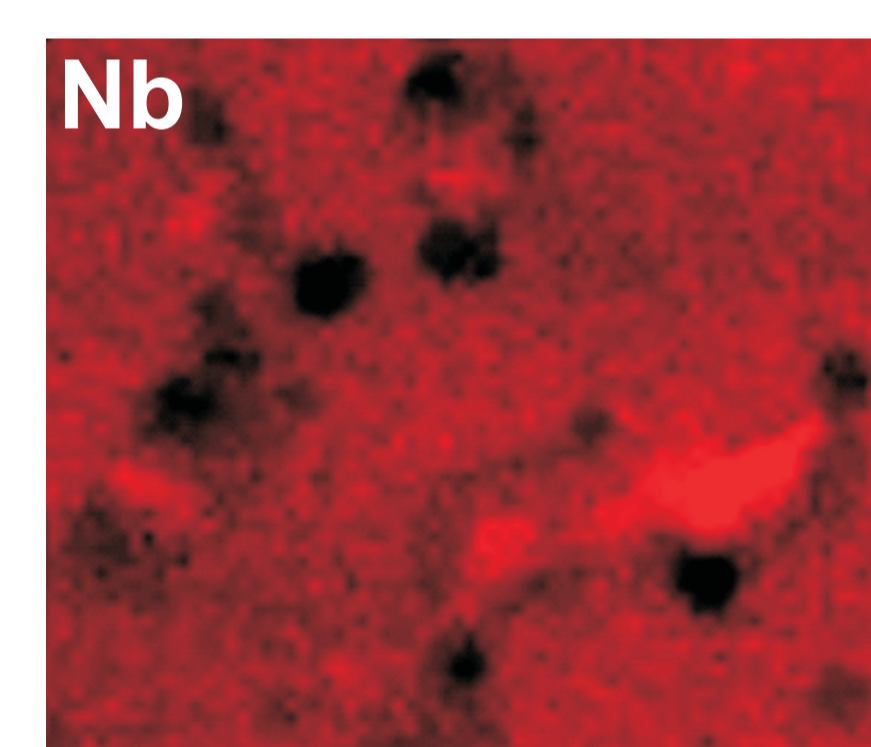
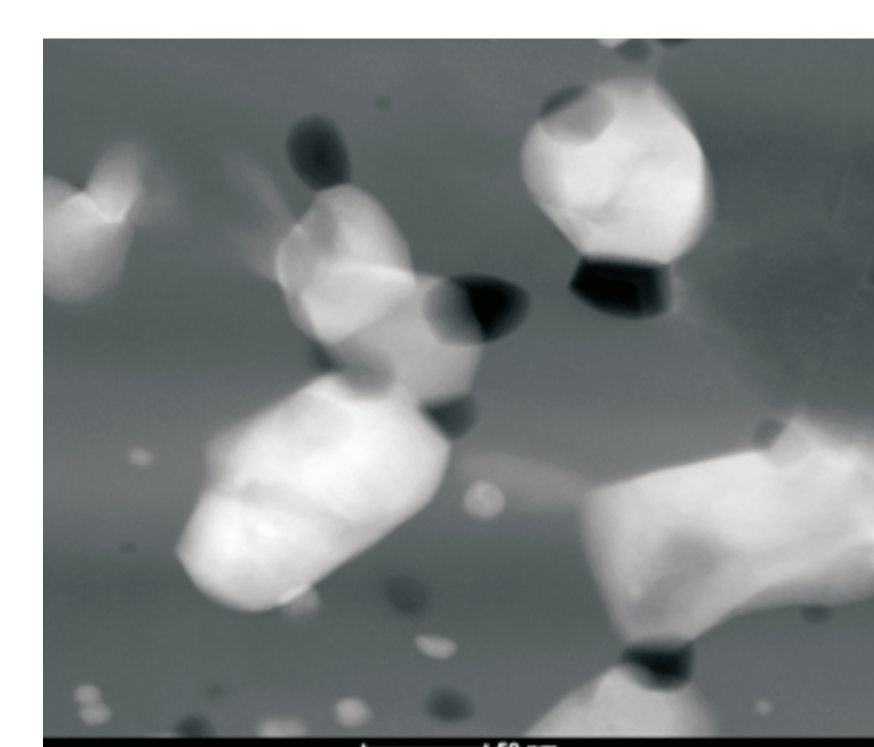
Rozmieszczenie pierwiastków na przekroju poprzecznym powłoki krzemowanej i bariery dyfuzyjnej
Elemental distribution on the cross-section of silicide coating and diffusion barrier



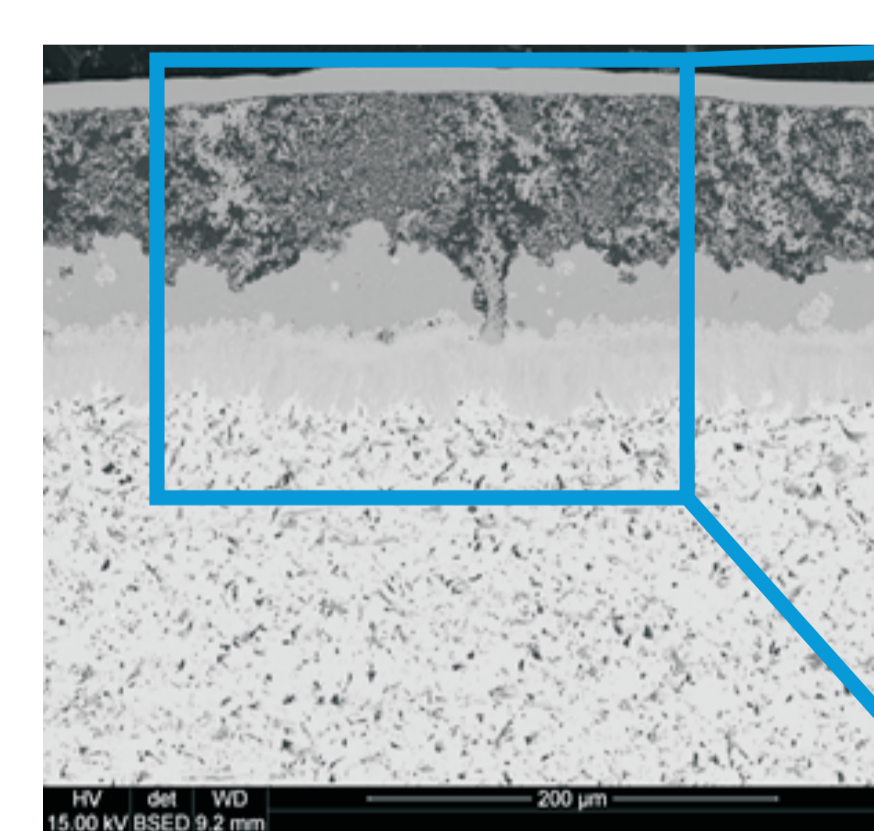
Mikrostruktura na przekroju poprzecznym powłoki krzemowanej na niobie
Cross-sectional microstructure of silicide coating on niobium

	% wagowy	% atomowy
Si	30,68	59,41
Nb	69,31	40,58

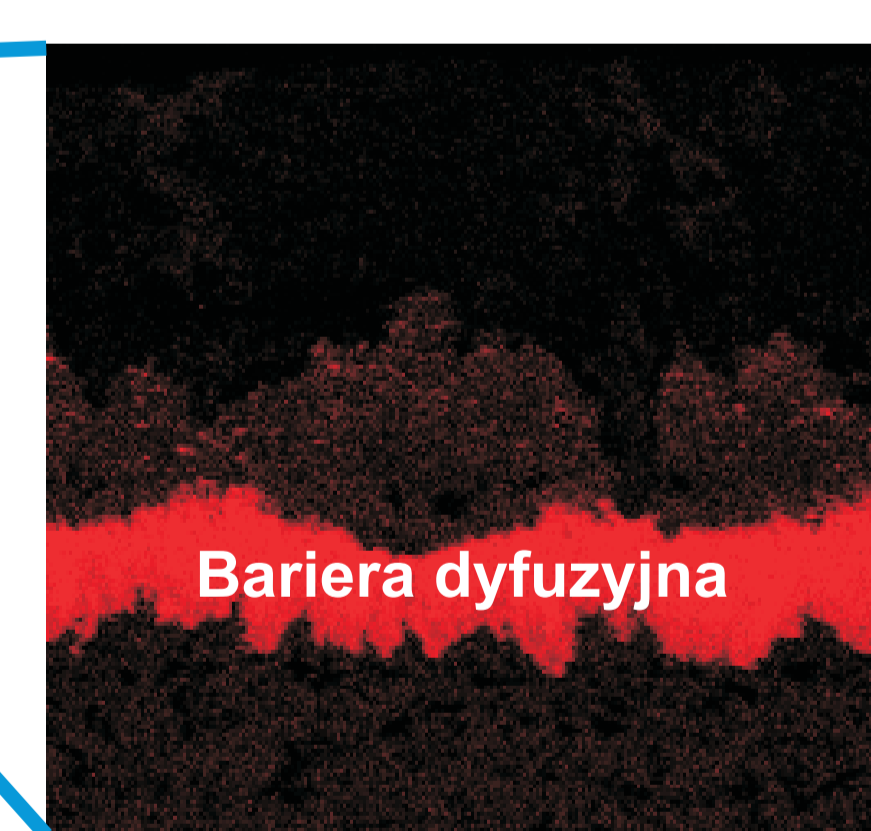
	% wagowy	% atomowy
Ti	1,91	4,71
Nb	50,40	63,85
Hf	47,67	31,43



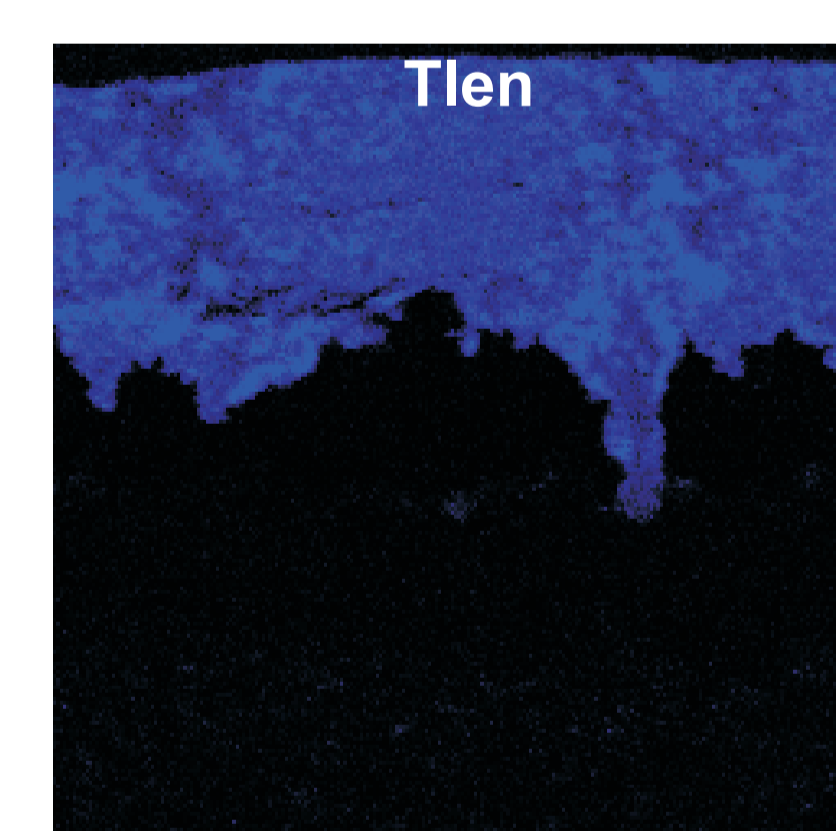
Rozmieszczenie pierwiastków w obszarze występowania wydzieleni Nb-Hf-Ti
Elemental distribution in the region of Nb-Hf-Ti precipitates



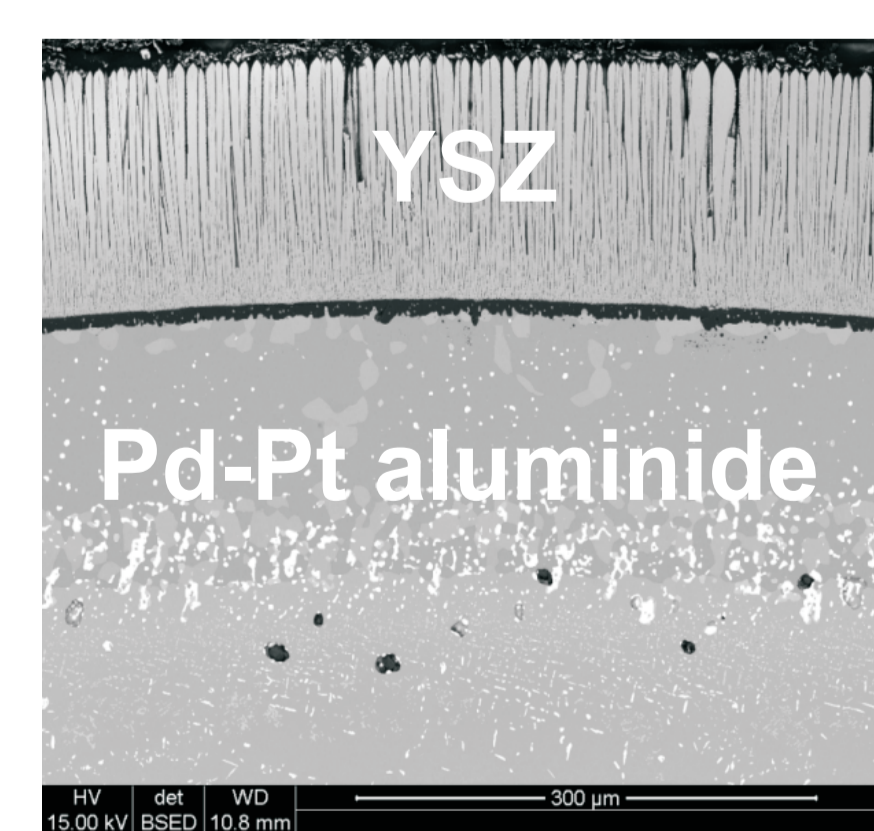
Oddziaływanie bariery dyfuzyjnej po 1000 godzinach utleniania w temperaturze 1100°C
The impact of the diffusion barrier after 1000 hours of oxidation test at 1100°C



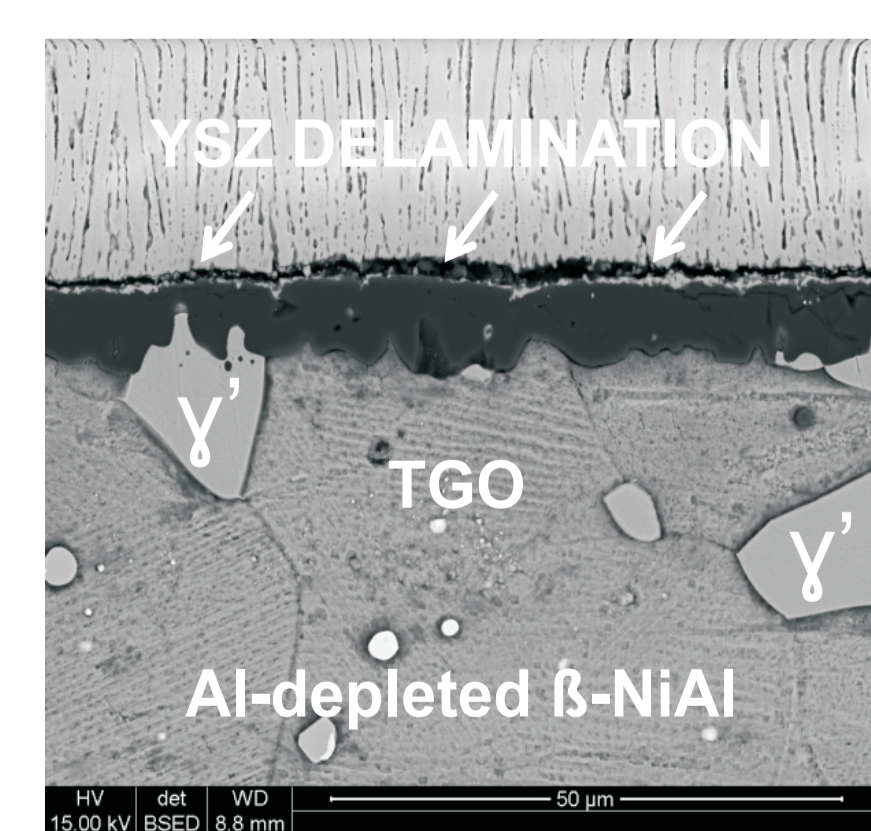
Bariera dyfuzyjna



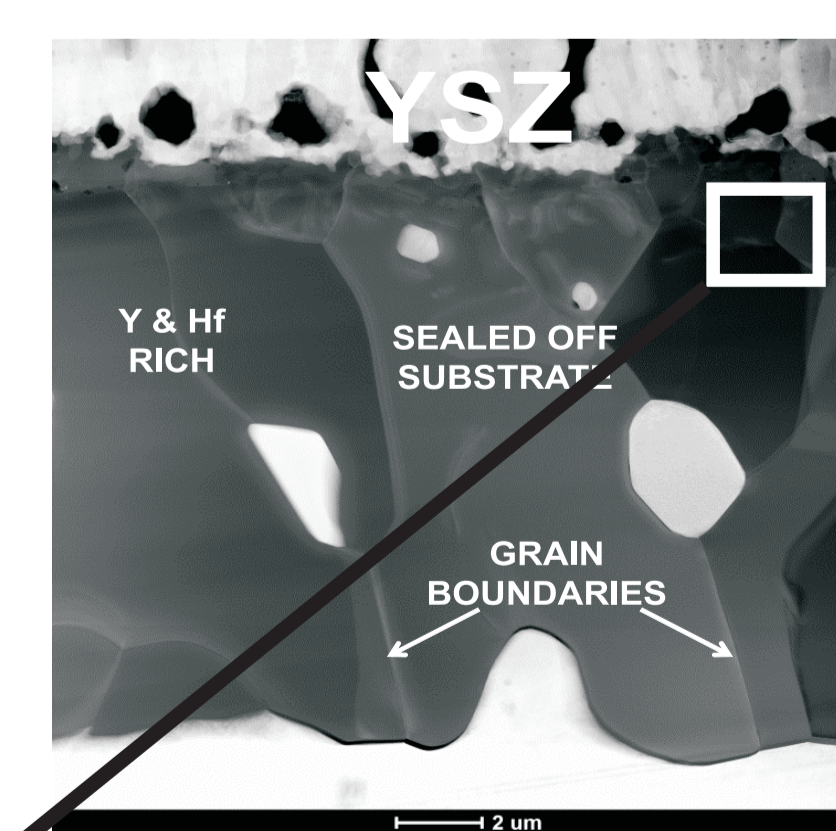
Tlen



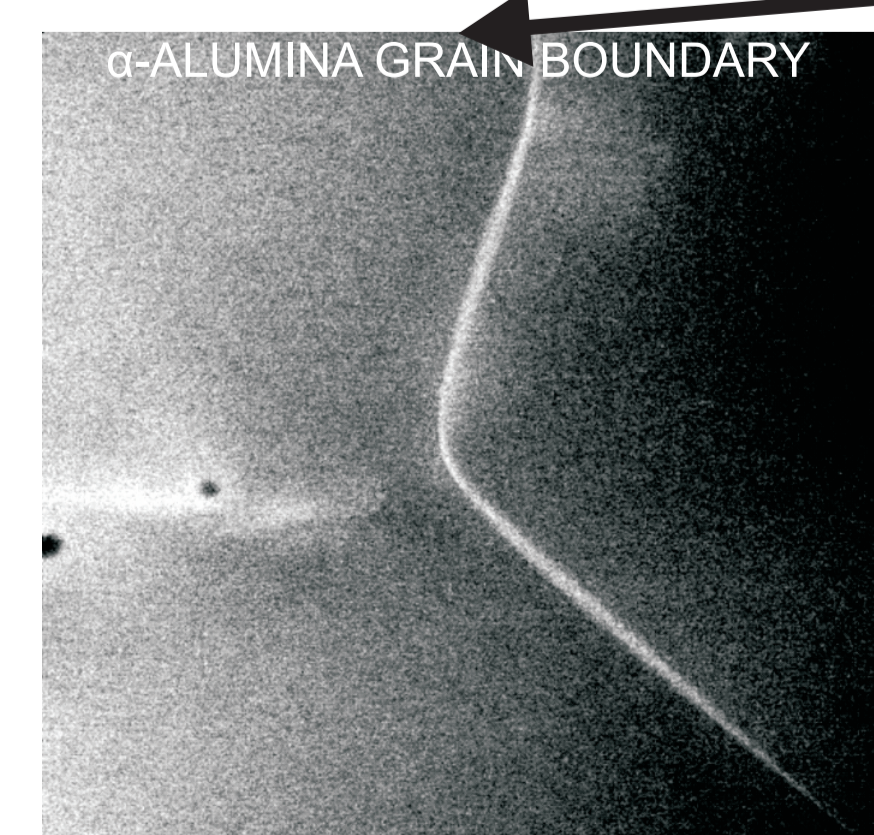
YSZ



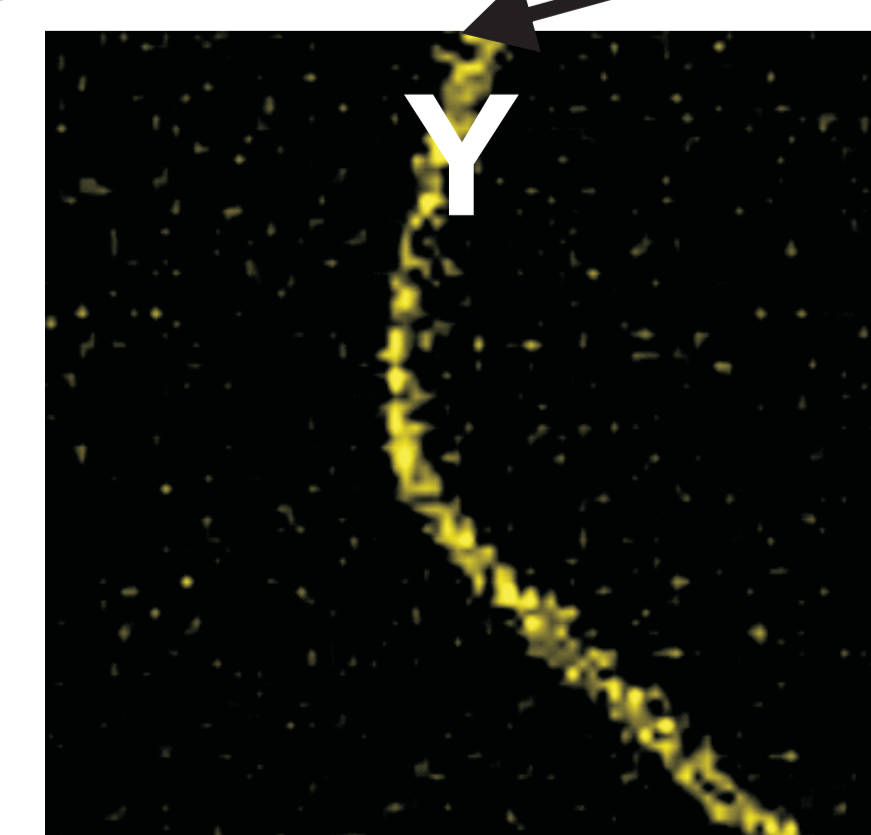
YSZ DELAMINATION
TGO



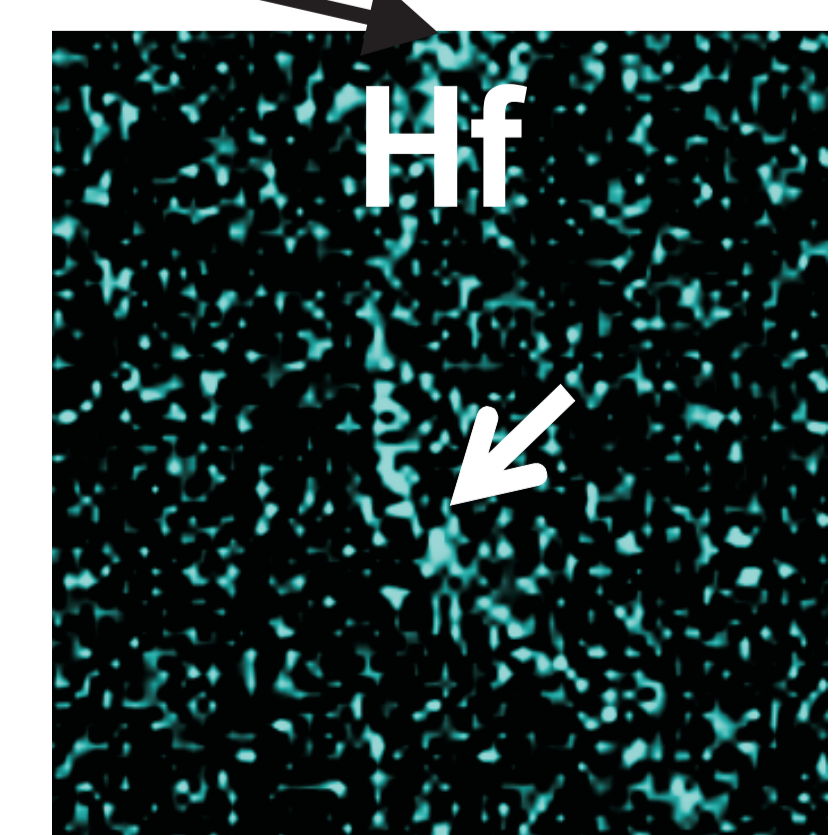
Y & Hf RICH
SEALED OFF SUBSTRATE



α-ALUMINA GRAIN BOUNDARY

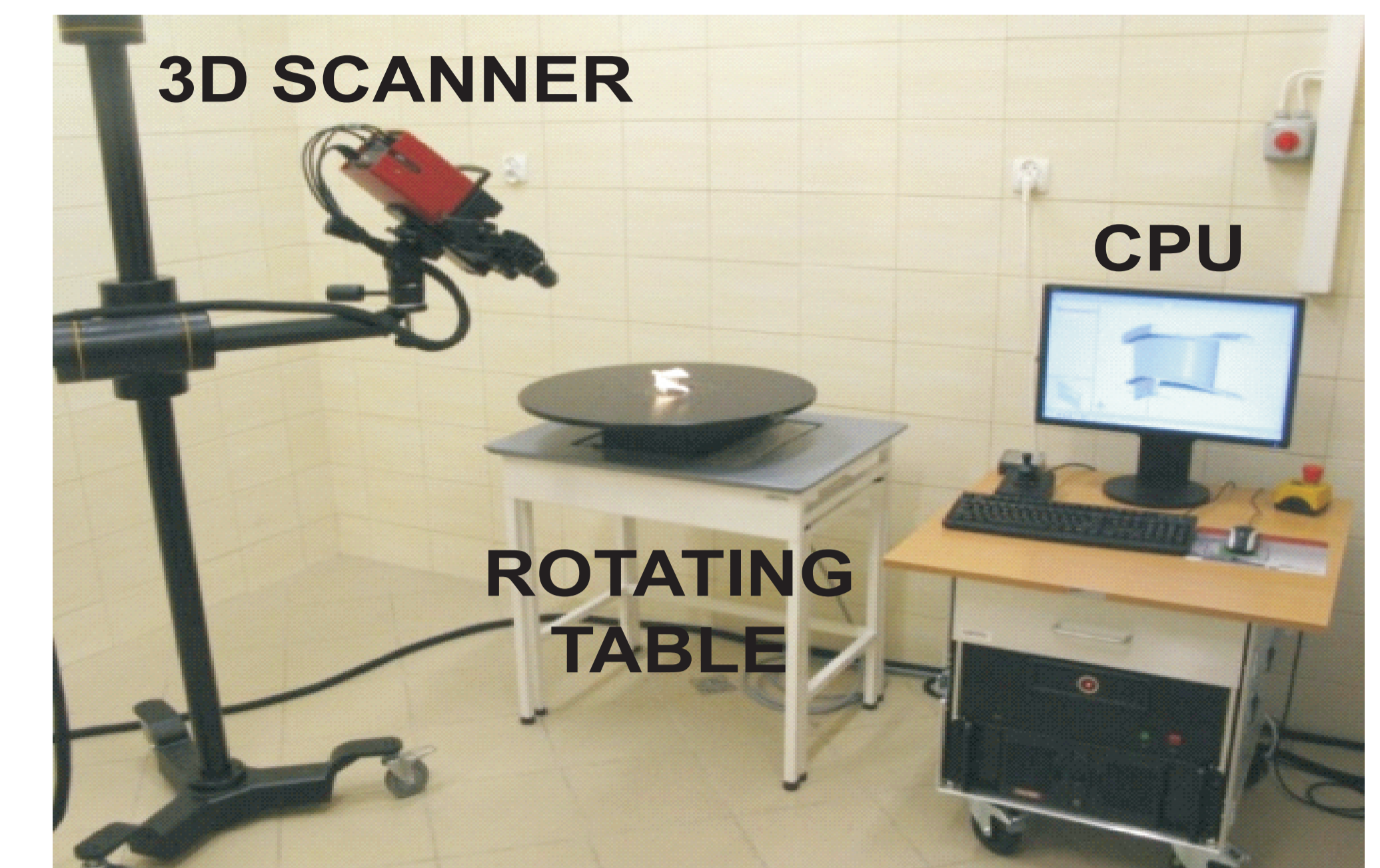


Y

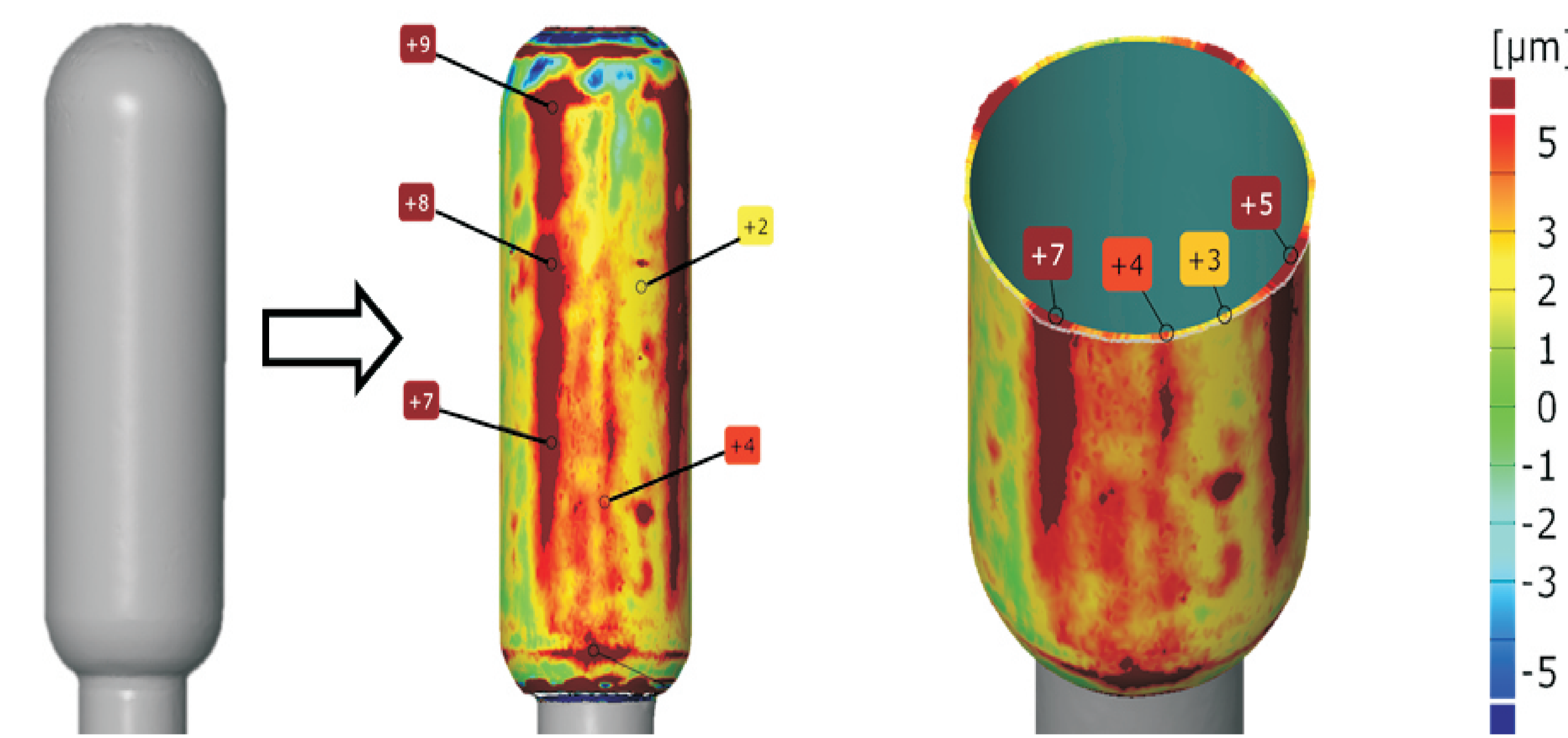


Hf

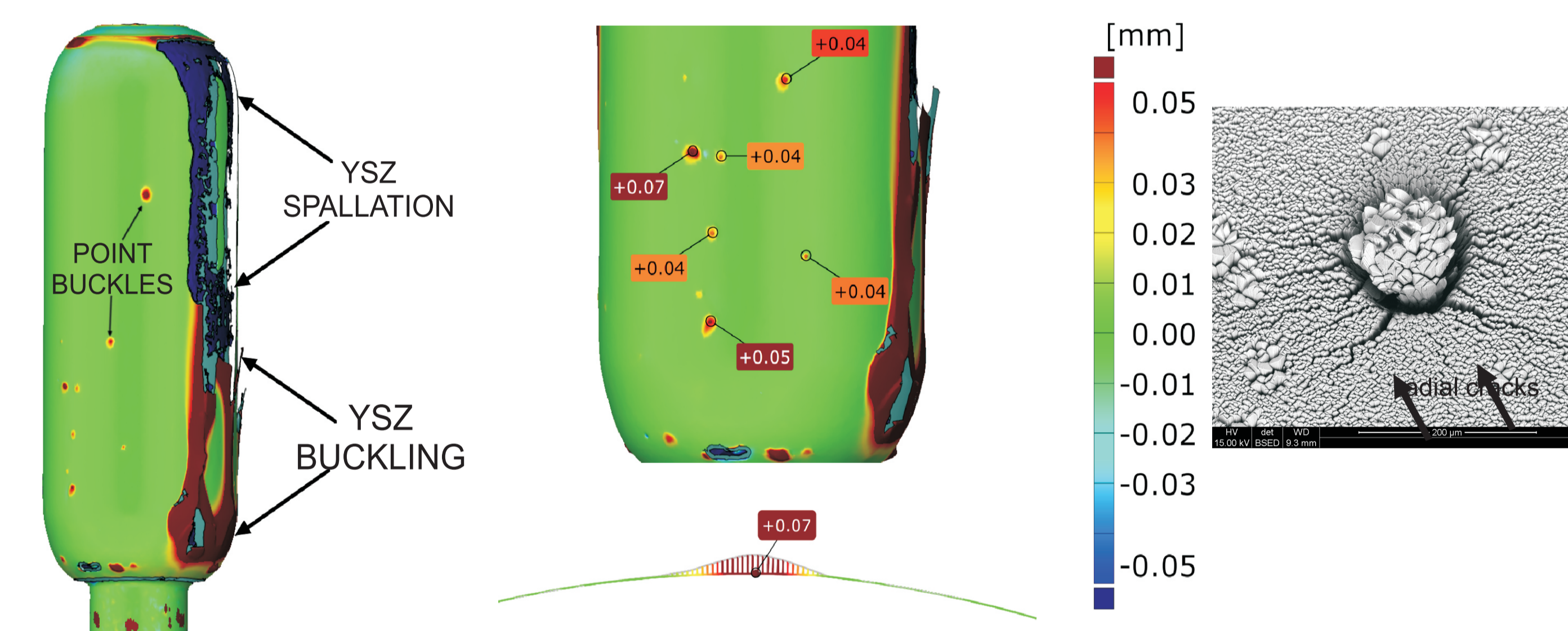
Degradacja powłokowej bariery ciepłej na tleście cyklicznego utleniania w temperaturze 1100°C
Thermal barrier coating degradation during cyclic oxidation test at 1100°C



Optyczny skaner 3D do nieniszczących badań degradacji powłokowych barier ciepłych
3D optical scanner for non-destructive evaluation of thermal barrier coatings

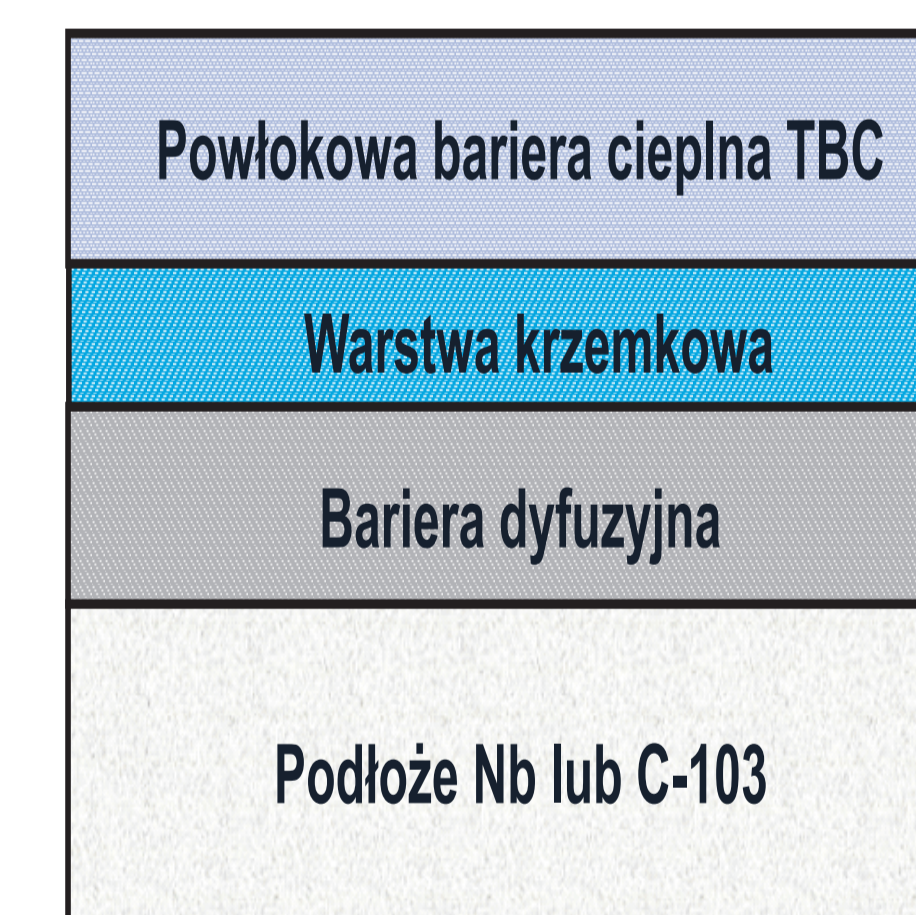


Analiza metodą nieniszczącą 3D odwarstwiania powłoki TBC na powierzchni próbek laboratoryjnych
3D non-destructive analysis of TBC delamination on the surface of laboratory samples



Analiza metodą nieniszczącą 3D odpadania powłoki TBC oraz powstawania tlenków o dużej objętości
3D non-destructive analysis of TBC spallation and formation of high volume oxides

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Model powłoki barierowej TBC na podłożu z niobu i na stopie C-103
Model of TBC coatings on Nb and Nb alloy C-103 [M. Zawadzki]

Dysza wylotowa silnika turbodładowanego
Exhaust nozzle of a turbojet engine

Wnioski Conclusions

- Ochrona pokrycie krzemkowe wytworzone metodą kontaktowo-gazową, na niobie i stopie niobu C-103 w znaczący sposób podwyższa odporność na utlenianie w porównaniu do próbek bez warstwy krzemkowej
- Protektive silicide coatings produced by pack cementation method on niobium and niobium alloy C-103 significantly increases resistance to oxidation compared to the samples without a silicide coatings
- Utlenianie niobu oraz stopu C-103 bez pokrycia ochronnego zachodzi ze wzrastającą szybkością. Utworzona zgorzelina zbudowana jest z tlenku Nb₂O₅
- Oxidation of niobium and Alloy C-103 without the protective covering takes place with increasing speed. Created scale is composed of oxide Nb₂O₅
- Próbki z warstwą krzemkową wykazują bardzo dobrą odporność na utlenianie w temperaturze 1100°C. Związane to jest głównie z obecnością SiO₂ w zgorzelinie.
- Samples with silicide coatings exhibit very good resistance to oxidation at 1100°C This is mainly associated with the presence of SiO₂ of the scale.
- Opracowano podstawy technologii wytwarzania bariery dyfuzyjnej pomiędzy warstwą krzemkową a podłożem, która zwiększyła trwałość stopu niobu do 1000 godzin
- Technological basics were developed for deposition of a diffusion barrier between the silicide coating and substrate alloy, which increased the durability of the niobium alloy to 1000 hours
- Opracowano technologię otrzymywania powłokowych barier ciepłych na nowym rodzaju międzywarstw aluminidkowych modyfikowanych platyną i palladem będących alternatywą dla międzywarstw Pt-Al
- The technology for deposition of Thermal Barrier Coatings was developed applying new type of aluminide bondcoatings modified with platinum and palladium as an alternative for Pt-Al bondcoatings.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

- Referaty**
- Roman Przeliorz, Lucjan Swadźba, **Oxydation of niobium and C-103 alloy coated by means of the pack cementation method.**
 - Roman Przeliorz, Lucjan Swadźba, Bartosz Chmiela, **Utlenianie stopu niobu C-103 z powłoką aluminidową otrzymaną metodą kontaktowo gazową**
- Publikacje**
- Roman Przeliorz, Lucjan Swadźba, **Oxydation of niobium and C-103 alloy coated by means of the pack cementation method**, Ochrona Przed Korozją, 2014, 57, 5, pp. 155-159
 - Roman Przeliorz, Lucjan Swadźba, Bartosz Chmiela, **Utlenianie stopu niobu C-103 z powłoką aluminidową otrzymaną metodą kontaktowo gazową**