

Marian SZURGOT¹, Krzysztof POLAŃSKI², Janusz W. KOSIŃSKI³

Badanie składu pierwiastkowego i mineralnego chondrytu węglistego NWA 4967 za pomocą analitycznej mikroskopii elektronowej

Investigation of Elemental and Mineral Composition of NWA 4967 Carbonaceous Chondrite by Analytical Electron Microscopy

Abstract: New NWA 4967 carbonaceous chondrite found in 2007 was investigated by scanning electron microscopy. Elemental composition, mineral composition and microstructure have been analyzed. The composition and distribution of olivines have been determined, and kamacite, taenite, troilite, spinel and melilite identified.

Keywords: analytical electron microscopy, extraterrestrial matter, carbonaceous chondrites, meteorites

Wstęp

Analityczna mikroskopia elektronowa jest podstawowym narzędziem badawczym meteorytów i skał ziemskich. Pozwala określić skład pierwiastkowy, skład mineralny, mikrostrukturę i teksturę skał, a jej połączenie ze spektroskopią ramanowską i mikroskopią optyczną, znacznie poszerza zakres możliwości badawczych skał pozaziemskich (Barbacki 2005; Polański 2008; Reed 2005; Szurgot et al. 2007; Szurgot et al. 2008a, b; Szurgot et al. 2009a, b; Szurgot 2009).

NWA 4967 to nowy materiał pozaziemski, znaleziony w 2007 roku w północno-zachodniej Afryce, w Algierii. Meteoryt ten w roku 2010 został przez Buncha i Wittkego sklasyfikowany jako chondryt węglisty CO3.2, w którym zawartość fajalitu w oliwinie jest zawarta w przedziale od 2,1 do 63% mol (Weisberg et al. 2010). Według Buncha i Wittkego meteoryt ten jest średnio zszokowany (S2), jego stopień zwiertzenia wynosi W1–2, a skała macierzysta zajmuje 18% objętości meteorytu (Cimała 2010). Te wstępne dane wskazują, że jest to ciekawy obiekt pozaziemski, a w literaturze naukowej dotąd brakuje oddzielnej publikacji poświę-

¹ Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki Politechniki Łódzkiej, Al. Politechniki 11, 90-924 Łódź, mszurgot@p.lodz.pl; mszurgot@lodd.p.lodz.pl; maszurgot@gmail.com

² Katedra Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego, Pomorska 149/153, 90 236 Łódź, kpolansk@mvi.uni.lodz.pl

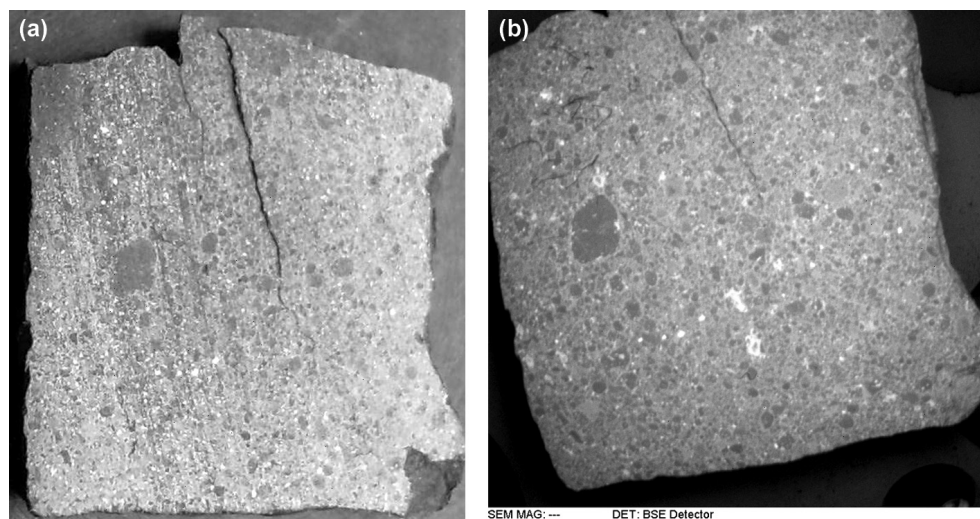
³ ul. Pułaskiego 19, 07-202 Wyszaków 4, meteoryty@vp.pl

conej temu nowemu chondrytowi. Naszym zamierzeniem było przeprowadzenie wszechstronnych badań meteorytu NWA 4967, z wykorzystaniem różnych metod analitycznych. Naturalnym było wykorzystanie analitycznej mikroskopii elektronowej, jako pierwszej techniki analitycznej. Celem tej pracy było określenie i zanalizowanie składu pierwiastkowego i mineralnego meteorytu NWA 4967, a także wstępna analiza chondr i ciasta skalnego meteorytu.

Metody badań

Badania składu pierwiastkowego, mineralnego i mikrostruktury meteorytu prowadzono stosując skaningowy mikroskop elektronowy VEGA 5135 Tescan, wyposażony w mikroanalizator rentgenowski EDX Link 300, produkcji Oxford Instruments. Topografię badanej powierzchni wraz ze wstępną informacją o składzie pierwiastkowym uwidocznionym w zróżnicowanym kontraście obrazu, rejestrowano w reżymie elektronów wstecznie rozproszonych (BSE). Celem analizy składu chemicznego meteorytu rejestrowano emitowane z badanych mikroobszarów promieniowanie X. Następnie w oparciu o otrzymane widmo tego promieniowania, wyliczano ilościowy skład pierwiastkowy badanej powierzchni.

Badania prowadzono na okazie meteorytu, w postaci wypolerowanej grubej płytki płasko-równoległej o wymiarach 13×14×2 mm (rys. 1).



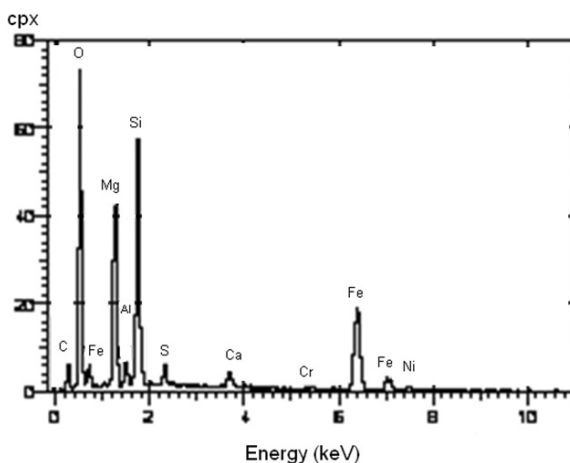
Rys. 1. Chondryt węglisty NWA 4967. (a) Widok meteorytu w świetle widzialnym, (b) obraz BSE meteorytu uzyskany pod skaningowym mikroskopem elektronowym. Obrazy pokazują chondry i ciasto skalne. Pole widzenia: 13×14 mm.

Wyniki

Ogólny obraz tekstury meteorytu NWA 4967 ujawniony w świetle widzialnym, zaprezentowano na rysunku 1a, a obraz BSE meteorytu ze skaningowego mikro-

skopu elektronowego pokazano na rysunku 1b. Oba obrazy uwidaczniają całą powierzchnię badanego okazu chondrytu. Prezentują typową mikrostrukturę chondrytu: małe, ciemne chondry, jaśniejsze ciasto skalne zawierające oprócz chondr także inkluzje CAI, ameboidalne zgrupowania oliwinów AOA, fazy metaliczne (białe plamki) oraz spękania.

Przykładowe widmo EDS meteorytu NWA 4967 pokazano na rysunku 2. Widmo to otrzymano z dużego obszaru meteorytu, reprezentuje ono średni skład pierwiastkowy chondrytu. Analiza średniego składu NWA 4967, z wykorzystaniem analitycznej mikroskopii elektronowej pokazuje, że głównymi pierwiastkami tworzącymi materię tego chondrytu są: O (48% wag.), Fe (18%), Si (14%) oraz Mg (12%), które obejmują około 93% całego składu mineralnego NWA 4967. Istotnymi składnikami meteorytu, o wkładzie łącznym około 7–8% są: Ca (1,5%), S (1,5), Cr (0,01–0,4%), Al (1,4%), Ni (0,7%) oraz C (około 2–3%) (tabela 1). Ten skład pierwiastkowy meteorytu NWA 4967, jest zbliżony do składu wcześniej badanych chondrytów węglistych należących do grupy CO (Hutchison 2004; Sears 1978), ale istnieją również różnice. Zawartość niektórych pierwiastków, takich jak: Si, Mg, S, Al., Ca i Cr, jest bliska innym chondrytom CO, zawartość O i C jest wyższa, a zawartość Fe i Ni niższa. Nasza analiza nie wykazuje Na, P, K, Ti, Co oraz H obecnych w innych chondrytach CO.



Rys. 2. Widmo EDS chondrytu z dużego obszaru meteorytu ($2 \times 2 \text{ mm}^2$) reprezentujące średni skład pierwiastkowy meteorytu.

Ważnym etapem badań nowych meteorytów jest analiza wybranych stosunków zawartości pierwiastków. Stosunki atomowe pierwiastków: Al/Si, Fe/Si, Ni/Si, Mg/Si, Ca/Si oraz Ca/Al w meteorycie NWA 4967 zostały przez nas określone i zamieszczone w tabeli 2. Pokazują, że pomimo wykrytych różnic w bezwzględnej zawartości pierwiastków, stosunki atomowe pierwiastków meteorytu NWA 4967 są bardzo zbliżone do określonych wcześniej stosunków zawartości pierwiastków w chondrytach węglistych, należących do grupy CO3 (Hutchison 2004).

Tabela 1. Średnia zawartość pierwiastków w chondrycie NWA 4967, w chondrytach CO, oraz w chondrycie CO3 Ornans.

Pierwiastek	NWA 4967 % wagowe (% atomowe)	Chondryty CO % wagowe Hutchison 2004	Ornans CO3 % wagowe Sears 1978
O	47,67 (63,54)	36,50	35,62*
Si	14,06 (10,68)	15,90	15,60
Mg	12,35 (10,83)	14,50	14,66
Fe	18,06 (6,90)	24,80	25,83
S	1,54 (1,03)	2,00	2,23
Al	1,41 (1,12)	1,43	1,35
Ca	1,48 (0,79)	1,58	1,40
Ni	0,68 (0,25)	1,40	1,36
Na		0,41	0,41
Cr	0,01–0,4	0,36	0,38
Mn		0,17	0,18
P		0,10	0,15
C	2,74 (4,87)	0,45	0,35
K		0,04	0,14
Ti		0,08	0,11
Co		0,07	0,08
H			0,15
Suma	100 (100)		100

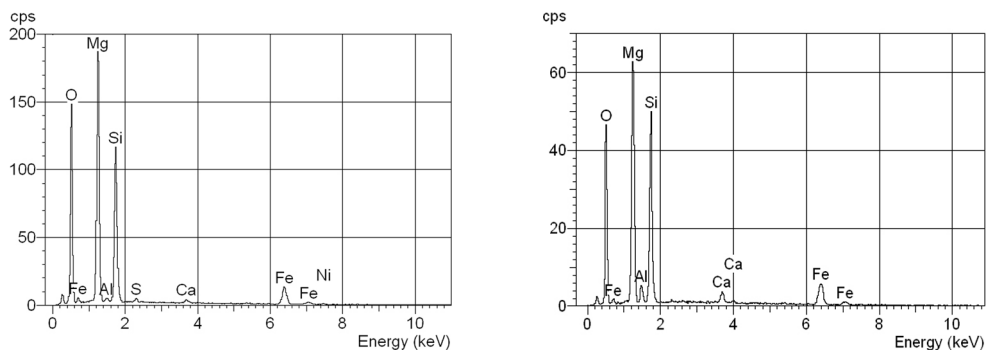
* Zawartość tlenu określona przez uzupełnienie do 100.

Tabela 2. Stosunki zawartości pierwiastków w meteorycie NWA 4967 i w chondrytach węglistych CO3 (Hutchison 2004).

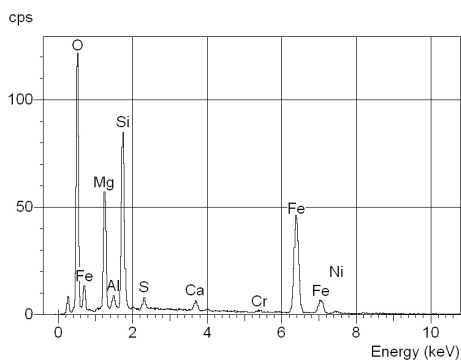
Stosunek	NWA 4967	Chondryty CO3 (Hutchison 2004)
Al/Si	0,10*	0,09*
Fe/Si	0,65	0,78
Mg/Si	1,01	1,05
Ni/Si	0,02	0,04
Ca/Si	0,07	0,07
Ca/Al	0,70	0,74

* Do tych obliczeń wykorzystano zawartość pierwiastków wyrażoną w % atomowych.

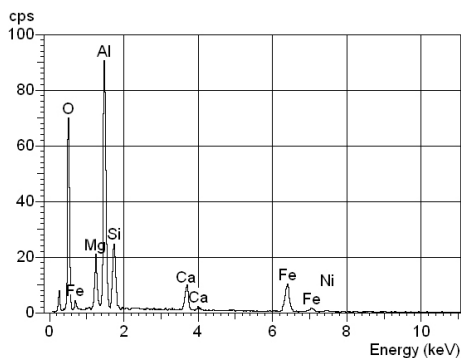
Widma EDS pokazane na rysunkach 3, 4 i 5 ujawniają skład lokalny meteorytu, skład ziaren oliwinu obecnego w chondrach i w cieście skalnym oraz skład mineralny inkluzji CAI.



Rys. 3. Widma EDS z mikroobszarów meteortu NWA 4967 ujawniające: (a) oliwin Fa11Fo89 obecny w dużym fragmencie chondry znajdującej się w obszarze ciasta skalnego oraz (b) Oliwin Fa14Fo86 z obszaru innej chondry.



Rys. 4. Widmo EDS drobnoziarnistego oliwiny Fa55Fo45 z obszaru ciasta skalnego.



Rys. 5. Widmo EDS z obszaru inkluzji CAI NWA 4967. Ujawnia obecność wysokotemperaturowych minerałów: spinelu $MgAl_2O_4$ i melilitu $Ca_2Al_2SiO_7$ - $Ca_2MgSi_2O_7$.

Widma EDS, z różnych mikroobszarów tego chondrytu, wykazują obecność typowych dla chondrytów minerałów: oliwiny, kamacytu, taenitu, troilitu oraz minerałów tworzących inkluzje wysokotemperaturowe CAI. W większości przypadków oliwin $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$, w chondrach meteorytu NWA 4967, wykazuje skład

o dużej zawartości forsterytu $Fa_{14}Fo_{86}$ (rys. 3b), zaś drobnoziarnisty oliwin ciasta skalnego jest wyraźnie wzbogacony w fajalit ($Fa_{55}Fo_{45}$) (rys. 4), gdzie Fa to fajalit $Fe_2[SiO_4]$, a Fo to forsteryt $Mg_2[SiO_4]$. Oliwin, obecny w cieście skalnym dużych obiektów ameboidalnych oraz fragmentów chondr, też wykazuje dużą zawartość forsterytu, np. $Fa_{11}Fo_{89}$ (rys. 3a). Niektóre chondry także wykazują dużą zawartość fajalitu. Ogólnie biorąc oliwin w chondrach jest wzbogacony w forsteryt, a obecny w cieście skalnym jest wzbogacony w fajalit. Oznacza to, że skład oliwinu w chondrycie NWA 4967, mieści się w szerokim zakresie zawartości fajalitu. Podane wyżej zawartości fajalitu i forsterytu w oliwinie zostały wyrażone w procentach molowych. Widmo EDS z obszaru inkluzji wysokotemperaturowych pokazuje rysunek 5. Ujawnia ono, że głównymi składnikami inkluzji CAI w tym meteorycie są spinel $MgAl_2O_4$ i melilit $Ca_2Al_2SiO_7$ - $Ca_2MgSi_2O_7$, podobnie jak w innych chondrytach węglistych.

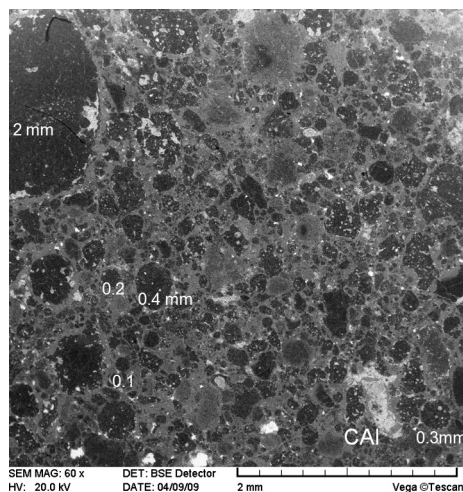
Analiza średniej zawartości pierwiastków pokazuje, że oliwiny i pirokseny, fazy metaliczne kamacyt i taenit, troilit oraz minerały tworzące inkluzje CAI, stanowią około 97–98% masy chondrytu NWA 4967, a fazy węglowe około 2–3% masy meteorytu.

Nieinwazyjne badania metodą mikrospektroskopii Ramana chondrytu NWA 4967 pozwoliły zidentyfikować następujące minerały: oliwin, ortopiroksen, klinopiroksen, cristobalit, coesynt, plagioklaz, magnetyt, withlockit oraz współobecne fazy węglowe grafit i diament (Szurgot i Tszedel 2009; 2010). Badania te są kontynuowane, a wyniki, po uzupełnieniu, będą przedmiotem oddzielnej publikacji.

Analityczna mikroskopia elektronowa oraz mikrospektroskopia Ramana pokazują, że zidentyfikowane w NWA 4967 minerały są podstawowymi oraz akcesoryjnymi składnikami chondrytów (Maneck 2004; Maneck 2010a, b), także chondrytów grupy CO (Hutchison 2004; Sears 1978, 2004; Brearley i Jones 1998; McSween 1977; Nagy 1975; Scott i Krot 2005). Obecność oliwinów, kamacytu (Fe,Ni), taenitu (Fe,Ni), troilitu (FeS), spinelu i melilitu w meteorycie NWA 4967 ujawniono za pomocą analitycznej mikroskopii elektronowej (rys. 3, 4, 5). Dane spektroskopii Ramana i analitycznej mikroskopii elektronowej uzupełniają się i weryfikują, potwierdzając dużą przydatność różnych metod analitycznych w badaniach składników krystalicznych materii pozaziemskiej.

Mikrostruktura i tekstura meteorytu NWA 4967, obserwowana pod skaningowym mikroskopem elektronowym jest prezentowana na rysunkach 1, 6–9. Już pod małym powiększeniem widać główne elementy mikrostruktury: chondry (ciemne), ciasto skalne (szare) i inkluzje CAI (jaśniejsze szare). Dominują ziarna oliwinu, głównego minerału tego meteorytu budującego chondry i znaczną część ciasta skalnego. Obecny jest także piroksen, kamacyt, taenit, troilit, spinel, melilit oraz fazy węglowe.

Rysunki 7 i 8 prezentują obrazy BSE wybranych chondr i innych składników tworzących ciasto skalne i składników zawartych w cieście skalnym meteorytu NWA 4967, a rysunek 9 obraz Cameo meteorytu. W obrazie barwnym Cameo dany kolor reprezentuje ten sam minerał o tym samym składzie, a w obrazach BSE



Rys. 6. Obraz BSE chondrytu NWA 4967 ujawniający jego mikrostrukturę. Na pierwszym planie widać chondry (ciemne), ciasto skalne (szare) i inkluzje CAI (jaśniejsze szare). Dominują ziarna oliwiniu, głównego minerału meteorytu budującego chondry i ciasto skalne. Obecny jest także piroksen, kamacyt, taenit i troilit oraz fazy węglowe. Średnicę niektórych chondr opisano na rysunku. Skala 2 mm. Pole widzenia: 4×4 mm.

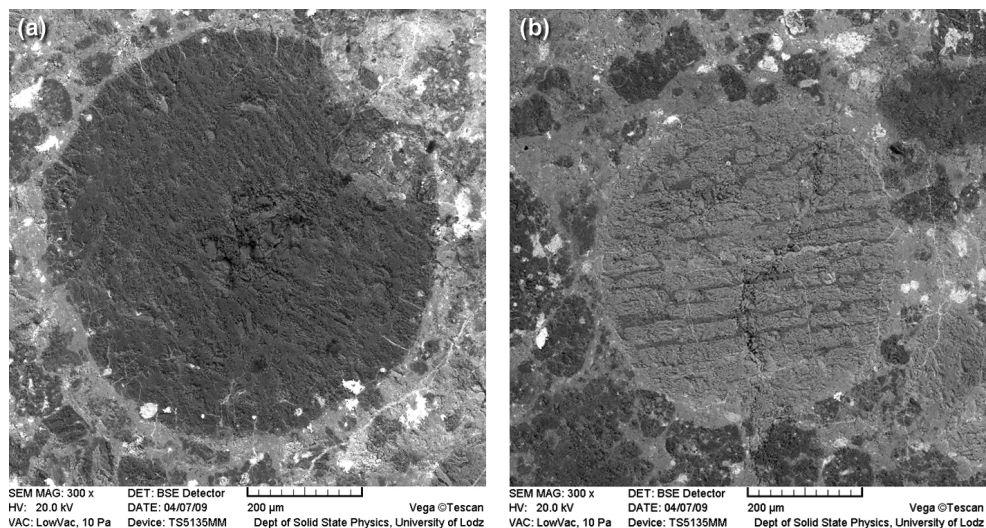
ten sam stopień szarości odpowiada tej samej, w granicach 2–3%, średniej masie atomowej danego minerału. Kolory ciemne na obrazach BSE reprezentują minerały o niskiej średniej masie atomowej, a kolory jasne ujawniają wysoką masę atomową minerału.

Chondry, w meteorycie NWA 4967, są zwykle typu GO, PO i BO. Objętość materii meteorytu zawarta przez chondry i ich fragmenty w skale macierzystej jest znaczna, porównywalna lub nawet większa, niż samego matriksu, zgodnie z oczekiwaniem dla grupy CO.

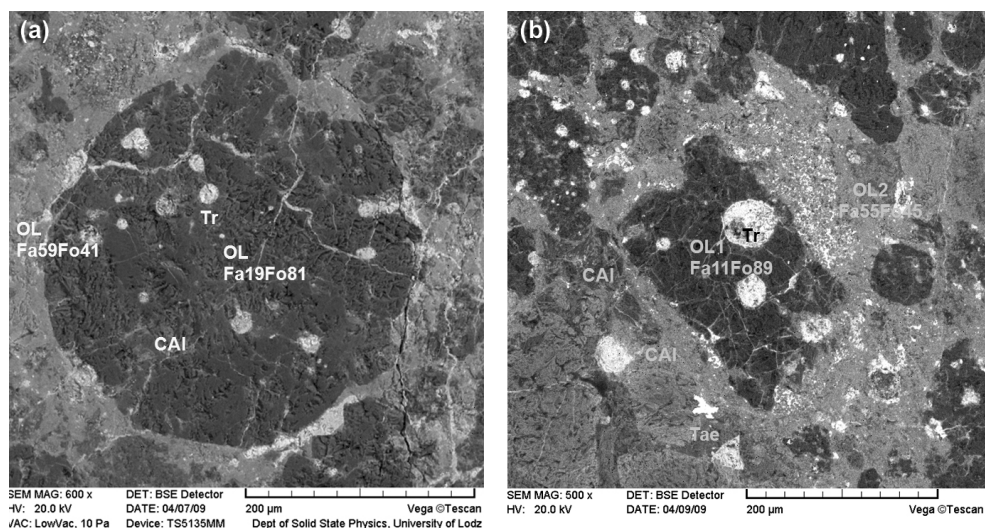
Analiza wielkości chondr w meteorycie NWA 4967 pokazuje, że ich średnice mieszczą się w przedziale 0,1–2 mm. Trzy rozmiarowe grupy chondr można wyróżnić: chondry małe 0,1–0,3 mm, chondry średnie 0,4–0,6 mm i nieliczne chondry duże 1–2 mm. W meteorycie NWA 4967 dominują chondry małe 0,1–0,3 mm, co jest oczekiwane dla chondrytów węglistych grupy CO, w których średnia wartość średnicy wynosi 0,15 mm (Hutchison 2004; Scott i Krot 2005); niekiedy przyjmuje się zakres 0,2–0,3 mm (Sears 2004).

Żyłki i globule troilitowe obecne w NWA 4967 wewnątrz niektórych chondr (m.in. chondr PO typu II) i skale macierzystej (rys. 8) mogą być dowodem na ogrzanie kolizyjne i stopienie minerałów niskotemperaturowych tego meteorytu, wskutek przejścia fali uderzeniowej. Troilit (FeS) jest minerałem o niskiej temperaturze topnienia i łatwiej niż inne minerały ulega stopieniu. Makroskopowe i mikroskopowe pęknięcia, obecne w NWA 4967, również dowodzą zderzenia, którego doświadczył ten meteoryt.

Żyłki minerałów w meteorytach mogą być nie tylko wynikiem stopienia, ale także skutkiem reakcji chemicznych, metamorfizmu związanego z działaniem wody



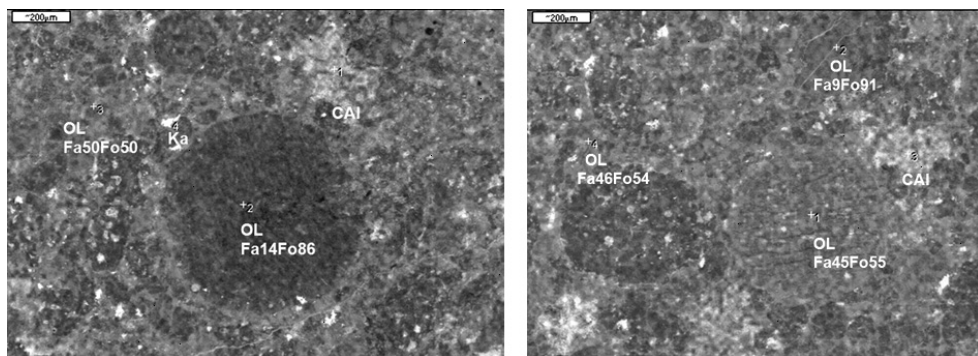
Rys. 7. Obrazy BSE dwu chondr i otaczającego je ciasta skalnego meteorytu NWA 4967. (a) Chondra ziarnista oliwinowa (GO), (b) chondra belkowa oliwinowa (BO). Średnica chondr: (a) 0.6 mm, (b) 0.5 mm.



Rys. 8. Obrazy BSE meteorytu NWA 4967. (a) Chondra porfirowa oliwinowa (PO) z żyłkami kamacytu i troilitu (Tr) oraz małymi, okrągłymi wtrąceniami troilitowo-kamacytowymi i wbudowaną inkluzją CAI, (b) duży fragment chondry oliwinowej z inkluzją troilitową i otaczającym ją ciastem skalnym zawierającym drobnoziarnisty oliwin (jasnoszary), białe plamki kamacytu i taenitu (Tae) oraz inkluzje CAI. Średnica chondry (a) 0.3 mm.

(metamorfizm wodny) lub innych czynników aktywnych w środowisku planetoidy macierzystej lub Ziemi.

Chondryt węglisty NWA 4967 sklasyfikowano jako należący do grupy CO typu petrologicznego 3.2. W ramach typu petrologicznego 3 wprowadzono podtypy 0–7 reprezentujące różny metamorfizm wodny tej grupy chondrytów. Podtyp 3.2



Rys. 9. Obraz Cameo meteorytu NWA 4967. Widać chondry, ciasto skalne, inkluzje CAI. OL – oliwin, Ka – kamacyt, CAI – inkluzje wysokotemperaturowe bogate w Ca i Al. Skład oliwinu podano w % molowych zawartości fajalitu (Fa) i forsterytu (Fo). Skala 200 μm .

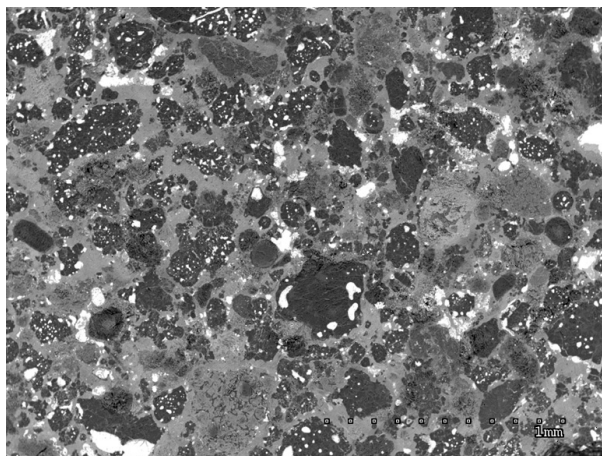
oznacza, że NWA 4967 jest względnie mało przeobrażonym chondrytem węglistym. Najmniej przeobrażone są chondryty 3.0, np. ALHA 77307 oraz Colony, w których przyjmuje się, że krzemiany chondr nie są zmienione, natomiast najbardziej zmetamorfizowane są chondryty węgliste podtypu 3.7.

Minerały metalu żelazo-niklu, kamacyt oraz taenit, występują w meteorycie NWA 4967 głównie w skale macierzystej, ale również w chondrach PO w postaci globul, także globul troilitowo-metalicznych, ameboidalnych plamek oraz żyłek. Żyłki metaliczne oraz metaliczno-troilitowe występują w miejscach charakterystycznych meteorytu: w przestrzeniach międzyziarnowych, wewnątrz chondr, w obszarach peryferyjnych chondr oraz wzdłuż linii i sieci spękań. Forma globul i żyłek to także wynik stopienia podczas epizodów zderzeń, tych podobnie jak i troilit łatwotopliwych minerałów. Jednak większość żelaza chondrytu NWA 4967 występuje w postaci utlenionej, związanej chemicznie w oliwinie i piroksenie chondr oraz ciasta skalnego. Jedną z form żelaza utlenionego jest magnetyt, wykryty przez nas za pomocą mikrospektroskopii Ramana.

Meteority należące do tej samej grupy i tego samego typu petrologicznego powinny wykazywać duże podobieństwo w składzie mineralnym i mikrostrukturze. Rysunek 10 prezentuje obraz mikrostruktury znanego chondrytu węglistego Kainsaz, który jest sklasyfikowany jako chondryt CO3.1. Można zaobserwować podobieństwo mikrostruktury obu meteorytów: NWA 4967 i Kainsaz (rys. 6 i 10). W tym okazie Kainsaz także występują nieduże chondry, ciasto skalne także zawiera bogate w fajalit duże fragmenty chondr oraz inkluzje CAI, fazy metaliczne i troilit. Oliwin w chondrach Kainsaz, podobnie jak w chondrach NWA 4967, jest bogaty w forsteryt, a drobnoziarnisty oliwin w cieście skalnym bogaty w fajalit.

W Kainsaz widać więcej fazy metalicznej niż w NWA 4967 i to zarówno w cieście skalnym jak i w chondrach.

Analityczna mikroskopia elektronowa umożliwiła dokonanie identyfikacji minerałów nowego chondrytu węglistego NWA 4967, określenia rozkładu przestrzennego minerałów i zbadania mikrostruktury. Ujawnione w niniejszej pracy cechy charakterystyczne mikrostruktury meteorytu NWA 4967, skład pierwiastko-



Rys. 10. Obraz BSE ujawniający mikrostrukturę chondrytu węglistego CO3.1 Kainsaz.

wy i skład mineralny tego meteorytu, mały rozmiar chondr i charakterystyczne spękania oliwinu są typowe dla chondrytów węglistych CO i są w większości zgodne z danymi literaturowymi, zebranymi dla wcześniej odkrytych i kompleksowo zbadanych chondrytów CO. Ten nowy, ciekawy materiał pozaziemski wart jest lepszego poznania.

Wnioski

Skład pierwiastkowy i skład mineralny chondr i ciasta skalnego, obecność i rozmiar chondr, obecność oraz charakterystyczne minerały inkluzji wysokotemperaturowych CAI, obecność globul i żyłek metalicznych i troilitowych oraz podobieństwo mikrostruktury NWA 4967 do mikrostruktury znanego chondrytu węglistego Kainsaz CO3.1 potwierdzają przynależność meteorytu NWA 4967 do chondrytów węglistych CO podtypu 3.2.

Podziękowania

Autorzy serdecznie dziękują Panu Profesorowi Andrzejowi Maneckiemu za zainteresowanie przebiegiem badań, za cenne rady dotyczące naszych aktualnych wyników, prezentacji tych wyników oraz kierunków przyszłych badań meteorytów.

Literatura

- Barbacki A. (Ed.), 2005. *Mikroskopia elektronowa*, Poznań.
- Brearley A.J., Jones R.H., 1998. *Chondritic meteorites*, [w:] Planetary Materials, Papike, J.J. (Ed.), Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Washington D.C. 36. 3-1-3-398.
- Cimała M., 2010. www.polandmet.com
- Hutchison R., 2004. *Meteorites-A petrologic, chemical and isotopic synthesis*, Cambridge.
- Karczewska A.T., Kozanecki M., Szurgot M., Sokołowska A., Mitura S., 2007., *Raman spectroscopy studies of meteoritic diamonds*, *Diamonds Rel. Materials*, 16. 781–783.

- Maneck A., 2004. *Encyklopedia minerałów z polskim i angielskim słownikiem nazw. Minerality Ziemi i materii kosmicznej*, Kraków.
- Maneck A., 2010a. *Meteory, meteoryty, pramateria słoneczna i „kosmiczne” technologie*, Kraków.
- Maneck A., 2010b. *Meteoryty. Oblicza gości z kosmosu*. Kraków.
- McSween H.Y. Jr, 1977. *Carbonaceous chondrites of the Ornans type; a metamorphic sequence*, Geochim. Cosmochim. Acta, 44.477–491.
- Nagy B., 1975. *Carbonaceous meteorites*, Amsterdam.
- Polański M., 2008. *Analityczna mikroskopia elektronowa w badaniach kryształów*, [w:] Kryształy w przyrodzie i technice. Przewodnik po świecie kryształów, Łódź, 173–190.
- Reed S.I.B., 2005. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*, Cambridge.
- Scott E.R.D., Krot A.N., 2005. *Chondrites and their components*, [w:] Meteorites, comets, and planets, A.M. DAVIS [Ed.], Amsterdam.
- Sears D.W., 1978. *The Nature and Origin of Meteorites*, Bristol.
- Sears D.W., 2004. *The Origin of Chondrules and Chondrites*, Cambridge.
- Szurgot M., 2009. *Badania ureilitu NWA XXX za pomocą analitycznej mikroskopii elektronowej*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 1. 137–141.
- Szurgot M., Polański K., Kozanecki M., 2007. *Kompleksowe zastosowanie metod analitycznych do badań chondrytów*, Materiały III Seminarium Meteorytowego Olsztyn 2005, Sosnowiec. 93–98.
- Szurgot M., Polański K., Krystek M. 2008a. *Electron and optical microscopy studies of extraterrestrial minerals in NWA 4047 meteorite*, Cryst. Res. Technol., 43. 656–665.
- Szurgot M., Roźniakowski K., Wojtatowicz T.W., Polański K., 2008b. *Investigation of microstructure and thermophysical properties of Morasko iron meteorites*, Cryst. Res. Technol., 43. 921–930.
- Szurgot M., Kisiel K., Kisiel R., 2009a. *Micro-Raman spectroscopy of NWA 4047 meteorite*, Proc. Conf. on Micro-Raman Spectroscopy and Luminescence Studies in the Earth and Planetary Sciences, Mainz, Gucsik A. (Ed.), AIP Proceedings 1163. 155–160.
- Szurgot M., Polański K., Burski M., 2009b. *Microscopic investigations of Shishr 007 meteorite*, Sci. Bull. Techn. Univ. Lodz, No 1057, Physics, 30. 73–83.
- Szurgot M., Tsydel I., 2009. *Ujawnianie minerałów meteorytu NWA 4967 za pomocą spektroskopii Ramana*, 51 Konferencja Krystalograficzna, Wrocław, Streszczenia komunikatów, 299–300.
- Szurgot M., Tsydel I., 2010. *Zastosowanie spektroskopii Ramana do identyfikacji minerałów meteorytu NWA 4967*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum, 2, submitted.
- Weisberg M.K., et al., 2010. Meteoritical Bulletin 97, MAPS, 45(3). 449–493.