

Marian SZURGOT<sup>1</sup>, Krzysztof KISIEL<sup>2</sup>, Renata KISIEL<sup>2</sup>

**IDENTYFIKACJA MINERAŁÓW METEORYTU NWA 4047  
ZA POMOCĄ SPEKTROSKOPII RAMANA**  
IDENTIFICATION OF MINERALS OF NWA 4047 METEORITE  
BY RAMAN SPECTROSCOPY

**Abstract:** Ordinary chondrite NWA 4047 was investigated by confocal Raman microspectroscopy to identify the extraterrestrial minerals. Olivines, orthopyroxenes, clinopyroxenes, plagioclase, graphite and diamond have been identified and characterized.

**Keywords:** ordinary chondrite NWA 4047, confocal Raman micro-spectroscopy, olivine, pyroxene, plagioclases

WSTĘP

Każdy minerał posiada unikalne widmo ramanowskie pozwalające na jego identyfikację i charakteryzację (Stucki & Reusser 1999). Nasze wcześniejsze i obecne badania meteorytów metodą spektroskopii ramanowskiej poświęcono identyfikacji i charakteryzacji faz węglowych (Szurgot et al. 2006, Karczewska et al. 2008), a także innych minerałów tworzących meteoryty (Szurgot et al. 2007, Szurgot 2009).

Celem niniejszej pracy było zidentyfikowanie głównych minerałów chondrytu zwyczajnego NWA 4047 znalezionej w 2005 roku. Chondryt ten został wstępnie sklasyfikowany jako H 4-5 w 2006 roku (Conolly et al. 2006). Przeprowadzone w 2007 roku badania NWA 4047 z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej i mikroskopii optycznej wskazują, że jest on brekcjowym chondrytem zwyczajnym H4-6 (Szurgot et al. 2008).

METODY BADAŃ

Meteoryt NWA 4047 badano wykorzystując płytkę ciekłą, polerowaną, o standardowej grubości 0.03 mm. Badano obszar o powierzchni 27 mm x 27 mm.

Widma Ramana rejestrowane były przy użyciu spektrometru Ramana T-64000 firmy Jobin-Yvon wyposażonego w mikroskop konfokalny BX-40 firmy Olympus. Wzbudzenia dokonywano wiązką światła o dł. 514,5 nm z lasera argonowego firmy LEXEL. Pomiar realizowano wykorzystując obiektyw o powiększeniu 50X. Zdolność rozdzielcza metody 1µm.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Teksturę badanego chondrytu NWA 4047 pokazano na Fig. 1. Chondryt ten ma budowę brekcjową. Cechą charakterystyczną chondrytów, jest obecność w ich głównej masie dobrze rozróżnialnych chondr, tj. kulistych agregatów kryształów oliwinów i piroksenów tkwiących w drobnokrystalicznej matrix złożonej z oliwinów, piroksenów, kamacytu,

<sup>1</sup> Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki Politechniki Łódzkiej, Al. Politechniki 11, 90-924 Łódź  
mszurgot@p.lodz.pl; mszurgot@lodd.p.lodz.pl

<sup>2</sup> Katedra Fizyki Molekularnej Politechniki Łódzkiej, Żeromskiego 116, 90 924 Łódź, kengyu@wp.pl;  
renata.pstrokonska@p.lodz.pl

taenitu, troilitu, grafitu oraz innych faz. Oprócz chondr i bardziej czy mniej zrekrystalizowanego ciasta skalnego widać jaśniejsze obszary klastów, z wyraźnie zaznaczonymi plagioklazami, ortopiroksenami oraz oliwinami. W obszarze klastu przedstawionym na Fig. 1(b), ciemne miejsca to obszary faz metalicznych kamacytu i taenitu, wokół nich widoczne ciemne obwódki wodorotlenków żelaza, utworzone wskutek procesów wietrzenia meteorytu w warunkach ziemskich.

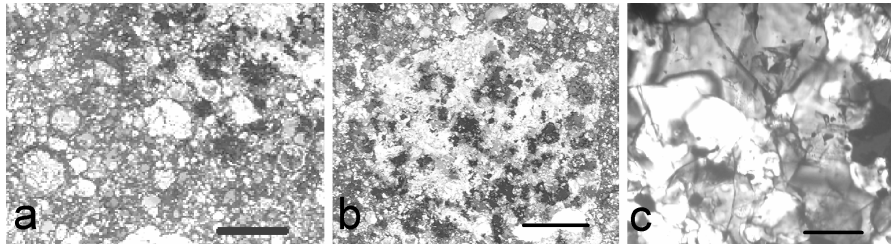


Fig. 1. (a) Obrazy chondr oraz ciasta skalnego, (b), (c) obrazy klastów meteorytu NWA 4047. Płytki cienka, światło przechodzące: (a), (b) światło spolaryzowane (1 nikol), (c) światło spolaryzowane, nikole skrzyżowane. c) Powiększony obraz wnętrza jednego z klastów z wyraźnie zaznaczoną dominacją ciemniejszych plagioklazów i jaśniejszych ortopiroksenów. Znaczniki skali: (a i b) 2 mm, (c) 0.05 mm.

Przykładowe widma ramanowskie z różnych części chondrytu NWA 4047 prezentowane są na Fig 2-5. Ujawniają one w NWA 4047 obecność oliwinów  $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$  (Fig. 2, 4), ortopiroksenów  $(Mg,Fe)_2[Si_2O_6]$  (Fig. 3, 5), także enstatytu  $(Mg_2[Si_2O_6])$ , innych klinopiroksenów  $(Mg,Fe^{2+},Ca)_2[Si_2O_6]$  (Fig. 4), oraz grafitu C i diamentu (Fig. 4, 5).

Ten skład mineralny jest zgodny z naszymi ustaleniami z wykorzystaniem analitycznej mikroskopii elektronowej oraz z analizą minerałów tego meteorytu w płytkach cienkich (Szurgot et al. 2008). Obecność tych minerałów jest także charakterystyczna dla chondrytów (Hutchison 2004, Norton 2002, Manecki 2004, Hurnik & Hurnik 2005, Szurgot 2008).

Spektroskopia Ramana potwierdza, że w chondrycie NWA 4047 są obecne także plagioklasy o znacznej zawartości cząsteczki anortytowej (Fig. 4 i 5).

Widma Ramana badanego meteorytu, przez porównanie z widmami wzorcowymi minerałów zamieszczonymi w istniejących i na bieżąco uaktualnianych bazach danych oraz publikacjach, umożliwiły nam, oprócz zidentyfikowania, także określenie składu minerałów. Położenia pików ramanowskich dubletu oliwinu 820 (linia DB1) i 850 (linia DB2)  $cm^{-1}$  umożliwiło określenie składu Fo-Fa i zawartości fajalitu w oliwinie (Fig. 2). Położenia pików ortopiroksenów w różnych obszarach widma (dublet około 660 i 680  $cm^{-1}$ ) oraz tryplet w zakresie 300-400  $cm^{-1}$  pozwoliły na określenie stosunku molowego Mg/Mg+Fe+Ca (Fig. 3) oraz rozróżnienie orto- i klinopiroksenów (Fig. 3 i 5) w oparciu o skalowanie składu tych minerałów podane w literaturze (Huang et al. 2000, Kuebler et al. 2006). Skład klinopiroksenu o widmie pokazanym na Fig. 4, określony w oparciu o dane skalowania Huanga i współpracowników, wynosi  $En_{45}Fs_5Wo_{50}$ , jest więc bliski składu diopsydu. Położenia pików skalania 512, 481  $cm^{-1}$  i 396  $cm^{-1}$  w chondrycie NWA 4047 (Fig. 5) umożliwiło jego oznaczenie jako plagioklazu o dużej zawartości  $Ca^{2+}$  (Freeman et al. 2003).

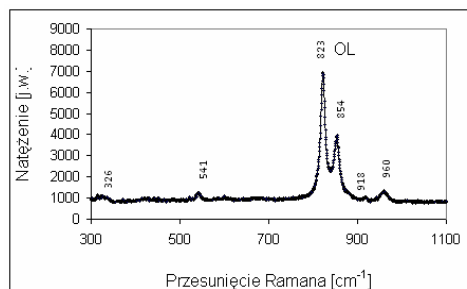


Fig. 2. Widmo Ramana z mikroobszaru chondrytu oliwinowej chondrytu NWA 4047. Dominujące linie 823 i 854  $\text{cm}^{-1}$  są charakterystyczne dla oliwinu co dowodzi, że minerałem tworzącym chondrę jest oliwin. Zawartość fajalitu w oliwinie określona w oparciu o położenia pików ramanowskich wynosi 13%, a skład oliwinu  $\text{Fa}_{13}\text{Fo}_{87}$ .

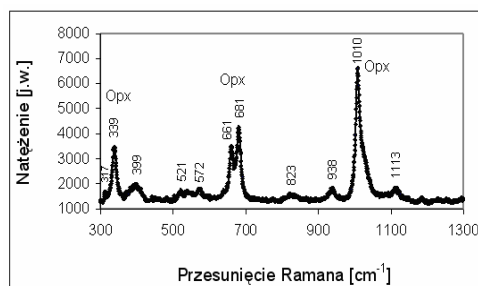


Fig. 3. Widmo Ramana z mikroobszaru ciasta skalnego. Dublet 661  $\text{cm}^{-1}$  i 681  $\text{cm}^{-1}$  oraz singlet 1010  $\text{cm}^{-1}$  oznaczają, że minerałem obecnym w tym miejscu meteorytu jest piroksen (ortopiroksen). Dla ortopiroksenu określono stosunek molowy  $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Ca} \approx 0.82$  z położeń pików ramanowskich. Zawiera on dużo minerału enstatytowego. Wg. innego skalowania odpowiada on składowi  $\text{En}_{87}\text{Fs}_{13}$ .

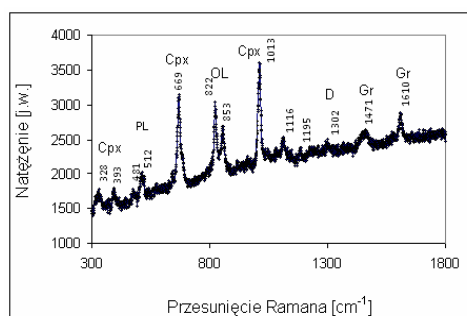


Fig. 4. Widmo Ramana z mikroobszaru ciasta skalnego chondrytu NWA 4047. Dominujące linie 669 i 1019  $\text{cm}^{-1}$  oraz słabsze 328, 366 i 393  $\text{cm}^{-1}$  są charakterystyczne dla piroksenu jednoskośnego (klinopiroksenu, Cpx), silne linie 822 i 853  $\text{cm}^{-1}$  odpowiadają oliwinowi (OL), linie 481 i 512  $\text{cm}^{-1}$  odpowiadają plagioklazowi (PL), linie 1471 i 1610  $\text{cm}^{-1}$  odpowiadają grafitowi (pasma D oraz pasmo G grafitu), a linia 1302  $\text{cm}^{-1}$  ujawnia obecność diamentu (D). Dowodzi to, że minerałami obecnymi w tym miejscu chondrytu są: diopsyd (klinopiroksen o składzie  $\text{En}_{45}\text{Fs}_5\text{Wo}_{50}$ ), oliwin, plagioklaz, grafit oraz prawdopodobnie nanodiament.

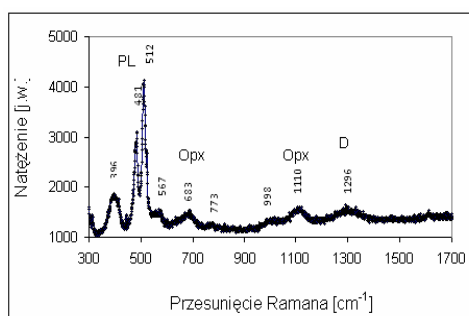


Fig. 5. Widmo Ramana z mikroobszaru klastu meteorytu NWA 4047. Silne linie 481  $\text{cm}^{-1}$  oraz 512  $\text{cm}^{-1}$  oraz 396  $\text{cm}^{-1}$  odpowiadają dominującemu w tym obszarze plagioklazowi (PL). Słabsze linie 683 i 1110  $\text{cm}^{-1}$  dowodzą, że w tym obszarze jest także obecny piroksen rombowy (Opx). Szerokie pasmo przy 1296  $\text{cm}^{-1}$  świadczy o obecności nanodiamentu (D).

Podziękowania: Autorzy serdecznie dziękują Prof. dr hab. inż. Andrzejowi Maneckiemu i Prof. dr hab. Łukaszowi Karwowskiemu za zainteresowanie przebiegiem badań, dr Marcinowi Kozaneckiemu za konsultacje i cenne rady, Panu Marcinowi Krystkowi i Panu Marcinowi Cimale za udostępnienie meteorytu do badań.

#### LITERATURA

- CONOLLY H. C. et al., 2006. *Meteoritical Bull.* 90. 1383-1413.
- FREEMAN J. J., WANG A., KUEBLER K. E., HASKIN L. A., 2003. Raman spectroscopic characteristics characterization of the feldspars – implications for in situ surface characterization in planetary exploration, *Lunar Planet. Sci.*, XXXIV. 1676.
- HUANG E., CHEN H., HUANG T., LIN E. H., JI-AN-XU, 2000. Raman spectroscopic characteristics of Mg-Fe-Ca pyroxenes, *Amer. Mineral.*, 85. 473-479.
- HURNIK B., HURNIK H., 2005. *Materia kosmiczna na Ziemi, jej źródła i ewolucja.* Poznań.
- HUTCHISON R., 2004. *Meteorites: a petrologic, chemical, and isotopic synthesis.* Cambridge.
- KARCZEWSKA A. T., SZURGOT M., KOZANECKI M., SZYMKOWSKA M. I., RALCHENKO V., DANILENKO V. V., LOUDA P., MITURA S., 2008. Extraterrestrial, Terrestrial and Laboratory Diamonds-Differences and Similarities. *Diamonds Rel. Materials.* 17. 1179-1185.
- KUEBLER K. E., JOLLIFF B. L., WANG A., HASKIN A., 2006. Extracting olivine (Fo-Fa) compositions from Raman spectral peak positions, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 70. 6201-6222.
- MANECKI A., 2004. *Encyklopedia minerałów z polskim i angielskim słownikiem nazw. Minerale Ziemi i materii kosmicznej.* Kraków.
- NORTON O. R., 2002. *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites.* Cambridge.
- STUCKI A., REUSSER E., 1999. Spektroskopia ramanowska w badaniach meteorytów, *Meteoryt.* 2/99. 11-13.
- SZURGOT M., KARCZEWSKA A., KOZANECKI M., 2006. Extraterrestrial diamonds. [w:] *Nanodiam,* MITURA, S., et al. (red.). Warszawa. 259-287.
- SZURGOT M., 2008. *Kryształy w meteorytach.* [w:] *Kryształy w przyrodzie i technice. Przewodnik po świecie kryształów.* Łódź. 209-230.
- SZURGOT M., 2009. Identyfikacja minerałów nowego ureilitu NWA XXX za pomocą spektroskopii Ramana, *Roczniki Polskiego Towarzystwa Meteorytowego* 1. 20.
- 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., KRYSZEK M., 2008. Electron and optical microscopy studies of extraterrestrial minerals in NWA 4047 meteorite, *Cryst. Res. Technol.* 43. 656-665.