

Marian SZURGOT<sup>1</sup>, Marcin KOZANECKI<sup>2</sup>

**SPEKTROSKOPIA RAMANA W BADANIU METEORYTÓW  
NWA 4039 i NWA 1465**

RAMAN SPECTROSCOPY STUDIES OF NWA 4039 and NWA 1465 METEORITES

**Abstract:** Carbonaceous chondrite NWA 1465 and eucrite NWA 4039 were investigated by confocal Raman microspectroscopy to identify the extraterrestrial minerals. Olivines, orthopyroxenes, clinopyroxenes, plagioclase, graphite, magnetite and troilite have been identified and characterized.

**Keywords:** confocal Raman micro-spectroscopy, NWA 4039 and NWA 1465 meteorites

WSTĘP

Spektroskopia Ramana jest ważnym narzędziem w badaniu materii. Nasze wcześniejsze i obecne badania meteorytów tą techniką poświęcono identyfikacji i charakterystyce minerałów, zwłaszcza faz węglowych (Szurgot et al. 2006a, Szurgot et al. 2007a, Karczewska et al. 2007, Karczewska et al. 2008).

Celem niniejszej pracy było zidentyfikowanie głównych minerałów chondrytu węglowego NWA 1465 (CV3) znalezionej w 2001 roku (Greshake et al. 2003) oraz eukrytu NWA 4039 znalezionej w 2005 roku (Conolly et al. 2006), a także charakterystyka zawartych w nich minerałów.

METODY BADAŃ

Widma Ramana rejestrowane były przy użyciu spektrometru Ramana T-64000 firmy Jobin-Yvon wyposażonego w mikroskop konfokalny BX-40 firmy Olympus. Wzbudzenia dokonywano wiązką lasera argonowego o dł. fali 514,5 nm, firmy LEXEL. Pomiary realizowano wykorzystując obiektywy o powiększeniu 50X. Zdolność rozdzielcza metody 1µm. Badania prowadzono na okazach meteorytów przygotowanych jako wypolerowana dwustronnie płytka (eukryt NWA 4039) oraz płytka z jedną wypolerowaną powierzchnią (chondryt NWA 1465).

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Płytkę badanego eukrytu NWA 4039 przedstawiono na Fig. 1a, a rozmieszczenie minerałów w płycie cienkiej zaprezentowano na Rys. 1b. Eukryt ten jest zbrekcjonowany i wykazuje teksturę zbliżoną do bazaltowej. Dominują w nim następujące minerały: plagioklaz, piroksen i troilit.

Okaz badanego chondrytu węglowego NWA 1465 przedstawiono na Fig. 2a, a obraz widziany w płycie cienkiej na Fig. 2b. Cechą charakterystyczną tej grupy (CV3) chondrytów, jest obecność dobrze rozróżnialnych chondr oliwinowych i piroksenowych

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

<sup>2</sup> Katedra Fizyki Molekularnej Politechniki Łódzkiej, Żeromskiego 116, 90-924 Łódź. marcin.kozanecki@p.lodz.pl

oraz drobnokrystaliczna struktura otaczającego chondry ciasta skalnego, zawierającego oprócz oliwinów i piroksenów także minerały ciemne: chloryty, grafit oraz inne ziarna.

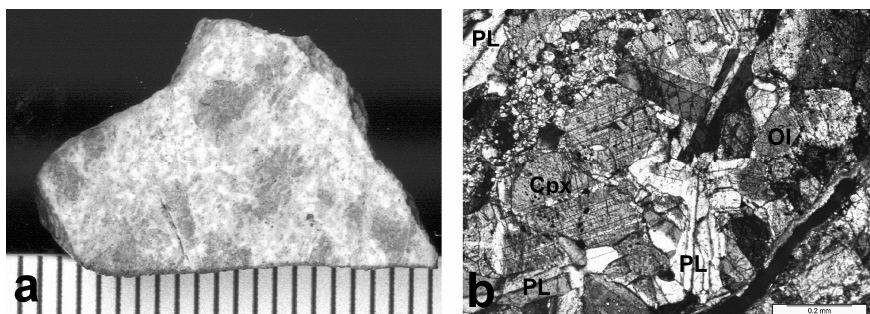


Fig. 1. Eukryt NWA 4039 z widocznymi minerałami tworzącymi substancję meteorytu. (a) Obraz makroskopowy, (b) Obraz minerałów w płytce cienkiej. Światło przechodzące, nikole skrzyżowane. Główne minerały meteorytu: plagioklaz (PL) (biały na rys (a)), klinopiroksen (Cpx) (ciemnoszary na rys (a)), troilit (jasnoszary na rys (a)), oliwin (OL). (a) Skala milimetrowa, (b) Skala 0.2 mm.

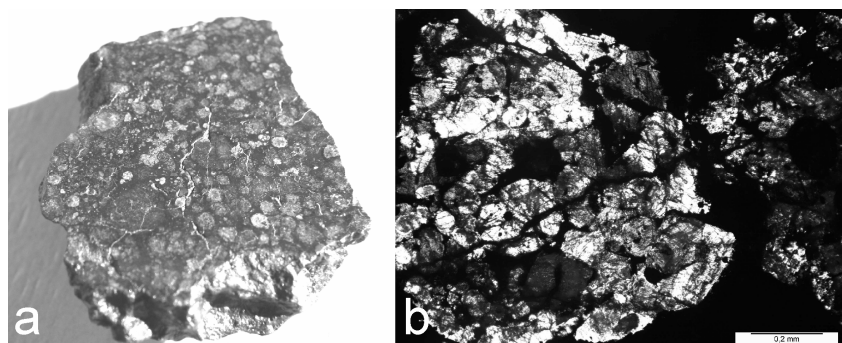


Fig. 2. Chondryt NWA 1465 z widocznymi chondrami i ciemnym ciastem skalnym. (a) Widok ogólny okazu meteorytu. (b) Obraz minerałów chondrytu w płytce cienkiej. Światło przechodzące, nikole skrzyżowane. Widoczna chondra porfirowa oliwinowo-piroksenowa z otaczającym ją ciastem skalnym. (a) Pole widzenia 2 cm x 2 cm. (b) skala 0.2 mm.

Przykładowe widma ramanowskie z różnych części eukrytu NWA 4039 prezentowane są na Fig.3. Przeprowadzone badania z wykorzystaniem analitycznej mikroskopii elektronowej (Szurgot et al. 2006b) i techniki płytek cienkich także spektroskopia Ramana wskazują, że w meteorycie NWA 4039 dominują plagioklasy, o dużej zawartości anortytu  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ , oraz pirokseny wapniowe, głównie pigeonit  $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Ca})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$  o niewielkiej zawartości Ca i diopsyd  $(\text{Ca},\text{Mg})[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (Fig. 1, 3) co odpowiada skadowi mineralnemu eukrytów (Norton 2002, Hutchison 2004, Manecki 2004, Hurnik & Hurnik 2005, Szurgot 2008).

Widma otrzymane z różnych mikroobszarów meteorytu NWA 1465 są prezentowane na Fig. 4 i 5. Ujawniają one w chondrycie węglistym NWA 1465 obecność kryształów oliwinów  $(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ , ortopiroksenów  $(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ , grafitu C, troilitu FeS i magnetytu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

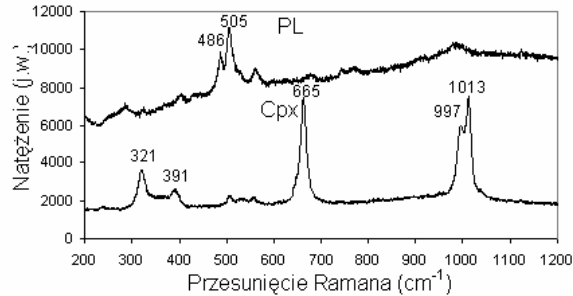


Fig. 3. Widma Ramana z dwu różnych mikroobszarów: plagioklazowego (widmo górne) i piroksenowego (widmo dolne) eukrytu NWA 4039. Linie 486 i 505  $\text{cm}^{-1}$  są charakterystyczne dla plagioklazu (PL), natomiast linie dominujące 665, 997 i 1013  $\text{cm}^{-1}$  oraz linie słabsze 321 i 391  $\text{cm}^{-1}$  są charakterystyczne dla piroksenu jednoskośnego (Cpx). Dowodzi to, że głównymi minerałami tworzącymi ten achondryt są klinopiroksen oraz skałń wapniowo-sodowy plagioklaz. Piroksenem jednoskośnym jest diopsyd ( $\text{Ca,Mg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ) oraz pigeonit ( $\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Ca}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ).

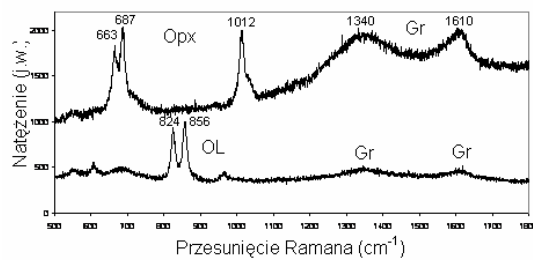


Fig. 4. Widma Ramana z dwu różnych mikroobszarów chondrytu NWA 1465. Dominujące linie 663, 687 i 1012  $\text{cm}^{-1}$  są charakterystyczne dla piroksenu rombowego (widmo górne), linie 1340 i 1610  $\text{cm}^{-1}$  ukazują grafit, a linie 824 i 856  $\text{cm}^{-1}$  ujawniają oliwin (widmo dolne) co dowodzi, że minerałami tworzącymi ten chondryt są ortopiroksen (Opx), oliwin (OL) i grafit (Gr). Dla piroksenu rombowego określono stosunek molowy  $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Ca}\approx 0.93$  z położeń jego pików ramanowskich, co oznacza, że jest to enstatyt  $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ . Zawartość fajalitu w oliwinie określona w oparciu o położenia pików ramanowskich wynosi 3%, co oznaczamy jako  $\text{Fa}_3$ .

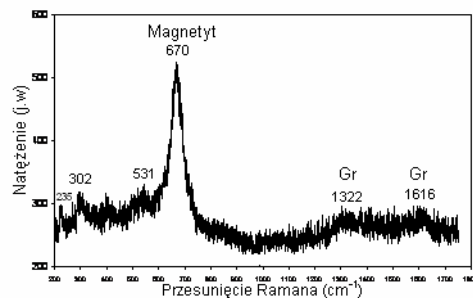


Fig. 5. Widmo Ramana z innego mikroobszaru meteorytu NWA 1465. Dominująca linia 670  $\text{cm}^{-1}$  i słabsze 302, i 531 oraz 225  $\text{cm}^{-1}$  dowodzą, że w tym obszarze dominuje magnetyt, słabe linie 1322 i 1616  $\text{cm}^{-1}$  świadczą o obecności grafitu (Gr). W tym obszarze również może znajdować się troilit, gdyż zarówno główny pik 670  $\text{cm}^{-1}$ , jak i inne piki troilitu, np. 225 oraz 302 i 402  $\text{cm}^{-1}$  dość dobrze pokrywają się z pikami magnetytu. Ponadto linia 225  $\text{cm}^{-1}$  świadczyć może o obecności hematytu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  lub ilmentu  $\text{Fe}^{2+}\text{TiO}_3$ .

Widma Ramana badanych meteorytów, 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. Położenie pików ramanowskich dubletu oliwinu 820 (linia DB1) i 850 (linia DB2)  $\text{cm}^{-1}$  umożliwiło nam, w oparciu o skalowanie Kuebler i współpracowników (Kuebler et al. 2006), określenie zawartości fajalitu (Fa) i forsterytu (Fo) w oliwinie (Fig. 4). Położenia pików ortopiroksenów w różnych obszarach widma (dublet około 660 i 680  $\text{cm}^{-1}$  oraz tryplet w zakresie 300-400  $\text{cm}^{-1}$ ) umożliwiły określenie stosunku molowego Mg/Mg+Fe+Ca (Fig. 4) oraz rozróżnienie orto- i klinopiroksenów (Fig. 3 i 4) w oparciu o skalowanie składu tych minerałów podane w literaturze (Huang et al. 2000). Skład klinopiroksenu o widmie pokazanym na Fig. 3, określony w oparciu o dane skalowania Huang i współpracowników (Huang et al. 2000) wynosi  $\text{En}_{49}\text{Fs}_1\text{Wo}_{50}$ , jest więc bliski składu diopsydu. Położenia pików dubletu skalenia 505 i 486  $\text{cm}^{-1}$  w eukrycie NWA 4039 dało możliwość jego rozróżnienia spośród 7 skaleni, jako plagioklazu o dużej zawartości  $\text{Ca}^{2+}$ . Możliwość takiego rozróżnienia skaleni umożliwiają wyniki Freemana i współpracowników (Freeman et al. 2003, Freeman et al. 2008). Spektroskopia Ramana potwierdziła i uzupełniła nasze dane o minerałach meteorytów NWA 4039 i NWA 1465 otrzymane z wykorzystaniem analitycznej mikroskopii elektronowej i techniki płytek cienkich (Szurgot & Kozanecki 2007, Polański et al. 2006, Szurgot et al. 2006b, 2007b).

Podziękowania: Autorzy serdecznie dziękują Prof. dr hab. inż. Andrzejowi Maneckiemu i Prof. dr hab. Łukaszowi Karwowskiemu za zainteresowanie przebiegiem badań oraz za cenne rady, a Panu Marcinowi Cimale za udostępnienie meteorytów.

#### 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 characterization of the feldspars – implications for in situ surface characterization in planetary exploration, *Lunar Planet. Sci.*, XXXIV. 1676.
- FREEMAN J. J., WANG A., KUEBLER K. E., JOLLIF B. L., HASKIN L. A., 2008. Characterization of natural feldspars by Raman spectroscopy for future planetary exploration, *Can. Mineral.*, 46:1477-1500.
- GRESHAKE A., CLAYTON R.N., MAYEDA T. K., KURTZ M., 2003. NWA 1465 and NWA 1665; two unusual carbonaceous chondrites from Northwest Africa, *Lunar Planet. Sci.*, XXXIV. 1560.
- 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., KOZANECKI M., SZURGOT M., SOKOŁOWSKA A., MITURA S., 2007. Raman spectroscopy studies of meteoritic diamonds, *Diamonds Rel. Materials*, 16. 781-783.
- 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.
- POLAŃSKI K., SZURGOT M., MICHAŁOWICZ E. 2006. Chondry i ciasto skalne w meteorycie NWA 1465, 48 *Konwersatorium Krystalograficzne*, Wrocław, Streszczenia komunikatów. 206-207.
- SZURGOT M., KARCZEWSKA T., KOZANECKI M, 2006a. Extraterrestrial diamonds, [w:] *Nanodiam*, MITURA S. i in. (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., KOZANECKI M., 2007. Spektroskopia Ramana i technika płytek cienkich w badaniach minerałów meteorytu NWA 1465, 49 *Konwersatorium Krystalograficzne*, Materiały konferencyjne, Wrocław. 138-139.
- SZURGOT M., POLAŃSKI K., JAKUBAS A., 2006b. Analityczna mikroskopia elektronowa w badaniach minerałów eukrytu NWA 4039, 48 *Konwersatorium Krystalograficzne*, Wrocław, Streszczenia komunikatów. 204-205.
- SZURGOT M., POLAŃSKI K., KOZANECKI M., 2007a. Kompleksowe zastosowanie metod analitycznych do badań chondrytów, *Materiały III Seminarium Meteorytowego Olsztyn 2005*, Sosnowiec. 93-98.