

## EXPLORACIÓN POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE LA CONDrita H5, LA CHARCA: UN ESTUDIO INTERESANTE DE SUS MICROESTRUCTURAS CON VESICULAS, POROS Y CRISTALES MACLADOS

A. M. Reyes-Salas<sup>1\*</sup>, L. F. Ortega<sup>1</sup>, O. Reyes<sup>2</sup>, S. Angeles<sup>1</sup>, C. Macías Romo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

<sup>2</sup> Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

\*Autor de correspondencia, email: adelars@unam.mx, Tel. 55 52 56 22 42 84, 160

Recibido: Septiembre 2013. Aprobado: Abril 2014.

Publicado: Mayo 2014.

### RESUMEN

Aquí presentamos nuevos datos microestructurales obtenidos con el microscopio electrónico de barrido (MEB) observados en pequeños fragmentos de la meteorita La Charca. Esta extraordinaria condrita presenta en su superficie poros y cristales maclados localizados dentro de huecos, o adheridos a superficie de cristales, y son de la misma composición que aquellos que se encuentran en toda la meteorita. Algunas áreas de las muestras observadas contienen vesículas, otra peculiaridad poco común entre meteoritas. Estas características posiblemente indiquen una historia de fusión y depósito de vapor por impacto y la gran porosidad que caracteriza a esta meteorita puede deberse a que proviene de la parte superficial de un cuerpo parietal poco compactado.

**Palabras claves:** MEB imágenes, Condrita La Charca, maclas, poros, vesículas.

### SCANNING ELECTRON MICROSCOPY EXPLORATION OF LA CHARCA, H 5 CHONDRITE: AN INTERESTING STUDY OF MICROSTRUCTURES WITH VESICLES, POROUS AND TWINNED CRYSTALS

### ABSTRACT

We present new microstructure and textural data obtain with scanning electron microscopy (SEM) images of La Charca meteorite. Vugs or porous and twinned crystals are observed in freshly cut surfaces, either as vug wall lining or as crystals attached to wall, and they represent the same phases present in the meteorite. In some areas this unusual chondrite contains vesicles, which is a rare petrographic characteristic among meteorites. The morphologies of these phases and the vesicles possibly indicate a history of impact melting and vapor deposition, whereas the high porosity of La Charca indicates that the meteorite comes from a near-surface part of the parent body.

**Keywords:** SEM images, La Charca chondrite, porous, twinned crystals, vesicles.

### INTRODUCCION

Las meteoritas son fragmentos de roca extraterrestre que continuamente caen sobre la superficie de la Tierra, y vienen de cuerpos parentales numerosos con una amplia variedad de historias geológicas [1]. Hay de varios tipos pero las más abundantes son las condritas pétreas ordinarias que se consideran entre las más primitivas, es decir aquellas que no se han diferenciado y por lo tanto permanecen con pocos cambios desde su formación. No hay equivalente litológico de condritas en la Tierra,

posiblemente por representar eventos de los principios de la historia del Sistema Solar, por ello es importante investigarlas pues nos permite conocer el origen de nuestra Tierra. Las condritas, presentan condros, los cuales son estructuras esferoidales con texturas que indican que sufrieron fusión antes de coalescer para formar parte de algún planetesimal. La meteorita La Charca cayó el 11 de junio de 1814 en los alrededores de Irapuato, Estado de Guanajuato México (Latitud 20° 40 N

Longitud 101° 17 W), fue clasificada como condrita ordinaria H5 y tiene la particularidad de ser muy porosa; fue preliminarmente descrita por Reyes-Salas *et al.* [2]. La Charca es una pieza única que conserva su costra de fusión, lo que nos indica una preservación fresca y por tanto la porosidad adquirida por la meteorita es primaria. En general las meteoritas pétreas presentan poca evidencia de porosidad, por lo que resulta de gran interés el estudio de esta meteorita. Otras condritas porosas son Mt Tazerzait y Baszkówka estudiadas por Woltzka *et al.* [3] y Przylibski *et al.* [4]. Meteoritas vesiculares son todavía más raras, pues las pocas que existen son acondritas de composición basáltica; por otro lado, se han reportado vesículas asociadas a fundidos por impacto en las condritas ordinarias Shaw, Cat Mountain y PAT 91501 [5].

Por medio del microscopio electrónico de barrido (MEB) presentamos imágenes de características poco comunes en general en las meteoritas y que están presentes en la meteorita La Charca como son vesículas, poros, drusas y cristales maclados e intentamos dilucidar su posible origen.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron fragmentos de menos de 1 cm que fueron colocados en portamuestras sobre una cinta con doble pegamento y, recubiertos por carbón con una evaporadora JEOL con la finalidad de observarlos directamente con el MEB, utilizando un equipo JEOL JSM- 6300 y electrones secundarios. La identificación de minerales se realizó con un detector acoplado al MEB de espectroscopía por dispersión en la energía de rayos X (EDX) NORAN con el cual se obtuvieron espectros característicos de los diferentes minerales, y directamente el equipo nos proporcionó el porcentaje en peso en óxidos para los silicatos y el porcentaje en peso en elemento para los metales. Las condiciones de trabajo fueron a 20 kV, en modo de alto vacío, se tomaron imágenes de electrones secundarios y 30 segundos de

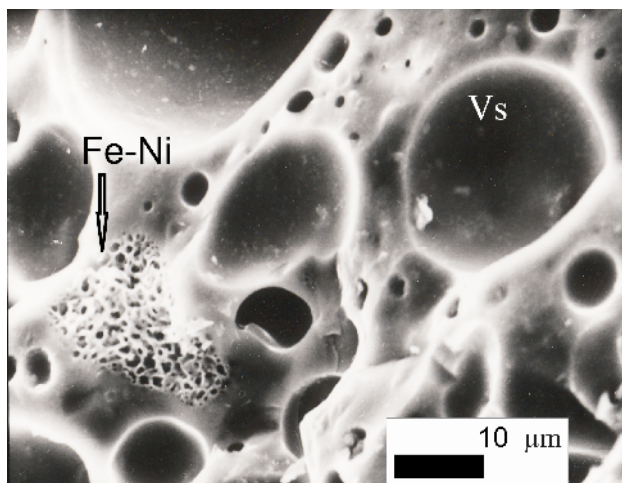
adquisición para los espectros de microanálisis. Posteriormente se realizó el cálculo estequiométrico de acuerdo a cada fórmula química de los minerales de la muestra.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Con la técnica de microscopía mencionada se determinó que esta meteorita contiene en algunas áreas gran cantidad de vesículas en un rango de 1-40  $\mu\text{m}$ , como puede observarse en la Figura 1, y la composición del vidrio máfico donde se formaron, puede verse en la Tabla 1, el vidrio es enriquecido en hierro y magnesio por lo que su posible origen sería de olivinos y piroxenas fundidos por elevación de la temperatura debido a un evento de choque; las vesículas, son similares a las contenidas en rocas terrestres volcánicas, las cuales se forman por la abundancia de gases y vapores, además de un enfriamiento rápido; sin embargo, la formación de vesículas en áreas restringidas en la meteorita en estudio, posiblemente tenga un origen por impacto donde se forman fundidos, de manera similar a la condrita PAT 91501 [4]. En la misma Figura 1, se observa una pequeña área de composición hierro-níquel con la siguiente composición  $\text{Fe}_{97.33}\text{-Ni}_{2.64}$  % en peso, muy similar al mineral kamacita típico en las meteoritas, pero con menor cantidad de níquel y con una morfología de panal que es poco común, posiblemente precipitaron y se desarrollaron en un hueco. También es notable la porosidad abundante en toda la muestra y observar cristales euhedrales creciendo dentro de los poros (Figura 2). Las caras regulares de estos cristales son indicativos de su crecimiento en espacios libres (poros) a partir de soluciones o fundidos. Esta porosidad también se observa como microporos en la superficie de condros y cristales (Figura 3).

En mineralogía química se describen a los minerales por medio de las llamadas fórmulas estructurales, permitiendo deducir el mineral específico presente, con su identificación precisa. Para el caso de los olivinos y

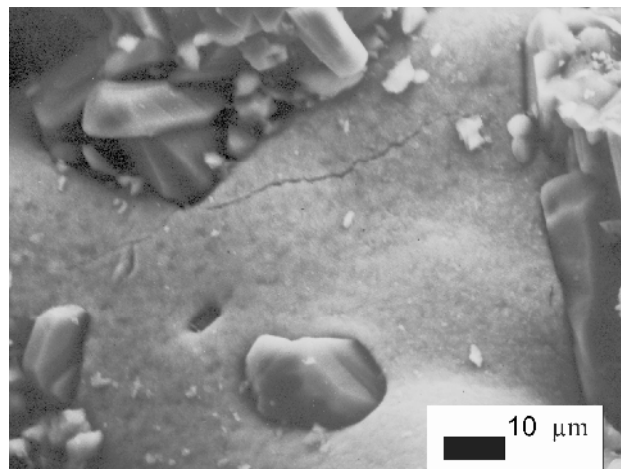
piroxenas, son soluciones sólidas, donde algunos cationes como el hierro y magnesio pueden intercambiarse en las diferentes moléculas, y de acuerdo a su predominancia es posible identificar los nombres de las especies mineralógicas de estos grupos. Para el caso de olivinos, su fórmula química general es:  $(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$  cuyos miembros extremos son forsterita,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  y fayalita,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  con otras especies del grupo con composiciones intermedias. Para las piroxenas, su fórmula química general es  $(\text{Mg,Fe}^{+2})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , aquí los miembros extremos son enstatita,  $\text{MgSiO}_3$  y ferrosilita,  $\text{FeSiO}_3$ , también con otras especies con composiciones intermedias. Las cromitas, forman parte del grupo de las espinelas, su fórmula general es  $(\text{FeCr}_2\text{O}_4)$ , pero puede tener sustituciones de  $\text{Mg} \leftrightarrow \text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Al} \leftrightarrow \text{Fe}^{+3}$ , las cromitas son un potente indicador petrogenético. La última hilera de la Tabla 1 es el resultado de los cálculos estequiométricos a partir de los porcentajes en óxidos para cada elemento expresados en la misma Tabla 1.



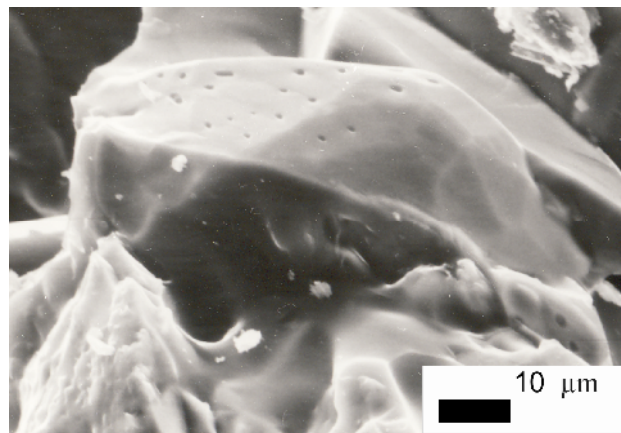
**Fig. 1.** Muestra un área de la meteorita La Charca con vesículas (Vs) de tamaño variable y el vidrio de composición máfica. A la izquierda se observa en una estructura de panal constituida por minerales de composición Hierro-Níquel (FeNi).

De esta forma se determina el porcentaje de la molécula predominante, en el caso de esta meteorita, para el olivino predomina la Forsterita y es presentado como  $\text{Fo}_{82}$ , para la piroxena, predomina la Enstatita,

representada como  $\text{En}_{77}$ . El #Mg en las cromitas representa un índice que corresponde al cálculo estequiométrico de  $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{+2}$ .

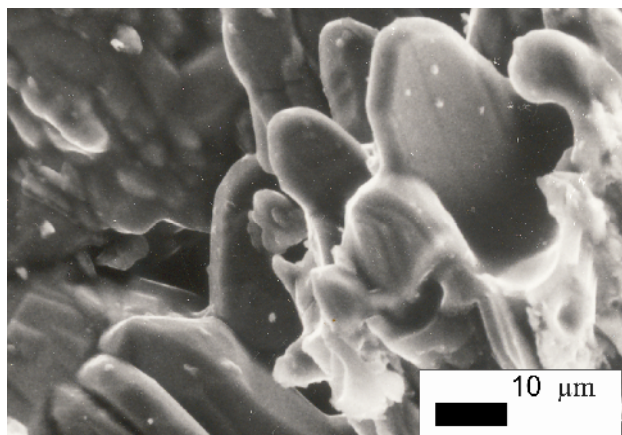


**Fig. 2.** Cristales euhedrales de olivino maclados dentro de poros y huecos.

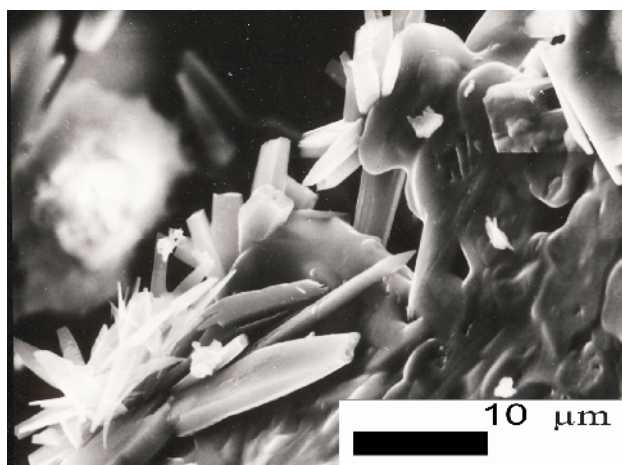


**Fig 3.** Cristal subhedral de olivino, maclado, mostrando microporos.

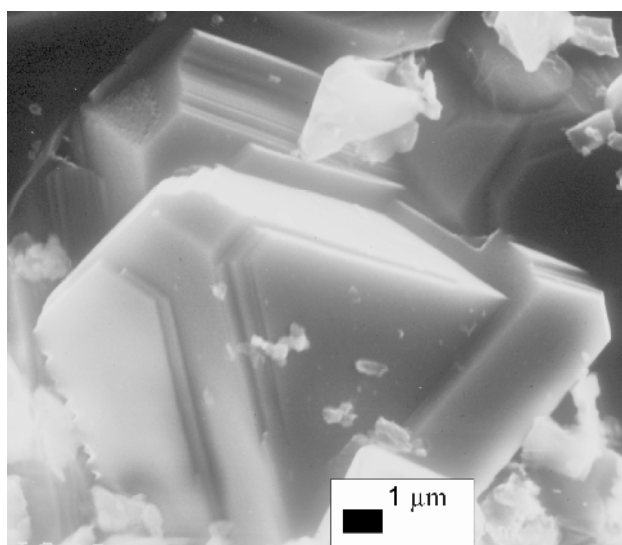
Otras características notables son la presencia de cristales maclados compuestos de olivino, piroxena y cromita, cuya morfología y composición se observan en las Figuras 4, 5 y 6 respectivamente y Tabla 1. La presencia de maclas es sugerente de cristalización tardía quizás a través de fluidos dentro de los poros.



**Fig. 4.** Cristales maclados de olivino.



**Fig. 5.** Cristales de piroxena creciendo en un hueco; abajo a la derecha se observan algunos de la misma composición pero de forma filamentosas



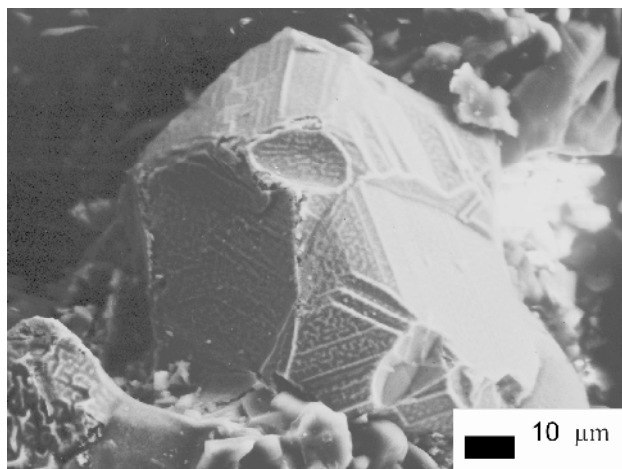
**Fig. 6.** Macla de cromita

**Tabla 1.** Porcentaje de óxidos de las principales fases mineralógicas y vidrio.

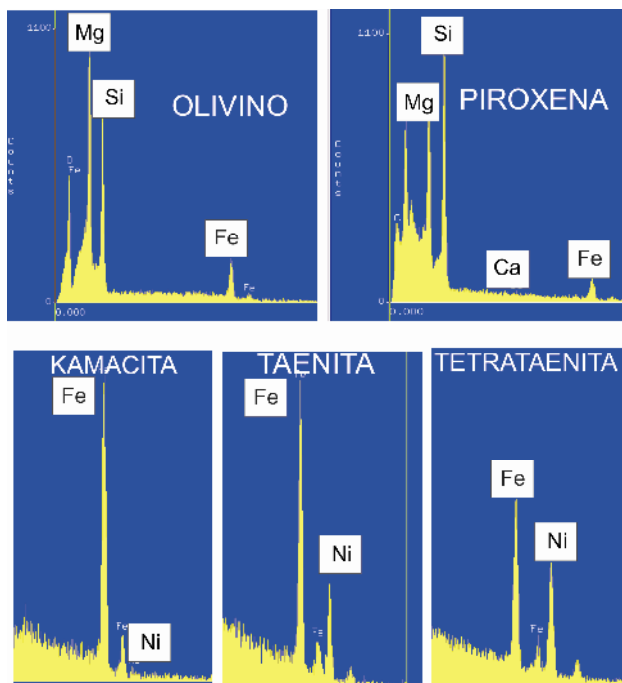
	Olivino	Piroxena	Cromita	Vidrio
SiO <sub>2</sub>	39.64	54.58	0	35.21
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.02	1.53	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.46	0.13	3.36	0
FeO T	15.67	14.42	23.74	28.01
MnO	0.46	0.67	1.09	0.96
MgO	43.57	29.47	2.64	34.32
CaO	0.03	0.71	0	0.89
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	67.64	0.61
SUMA	100	100	100	100
Comp.	Forsterita (Fo <sub>82</sub> )	Enstatita (En <sub>77</sub> )	Núm. de Magnesio (Mg <sup>o</sup> % <sub>14</sub> )	

Kamacita, taenita y tetrataenita son los minerales metálicos más abundantes en las meteoritas condriticas, son de composición variable de hierro-níquel, su porcentaje en peso en este trabajo es expresado como subíndice, la mayoría se encuentran intersticiales entre los silicatos y son anhedrales, los granos metálicos euhedrales son relativamente raros [6]. En la meteorita de estudio, se observó (Figura 7) mineral euhedral metálico kamacita de composición Fe<sub>94.15</sub>-Ni<sub>5.85</sub> % en peso, que además presenta en su superficie pequeños precipitados (drusas) alineados, de composición Fe<sub>54.72</sub>-Ni<sub>35.02</sub> % en peso y Fe<sub>51.42</sub>-Ni<sub>48.58</sub> % en peso. Estas composiciones corresponden a los minerales taenita y tetrataenita. Estas drusas también son indicativas de los fluidos en los poros. La composición química de los olivinos y piroxenas representan olivinos forsteríticos parecidos a los de los basaltos terrestres, mientras que la piroxena es extremadamente pobre en calcio y aluminio y una composición más rica en hierro que la del olivino. La cromita es notablemente pobre en aluminio (3.36 wt. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) si se les compara con las cromitas del grupo H (6.64 wt. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)[7], sin embargo los análisis EDS no

son tan precisos como los WDS. En la Figura 8, se muestran los espectros característicos de los minerales más abundantes en esta meteorita.



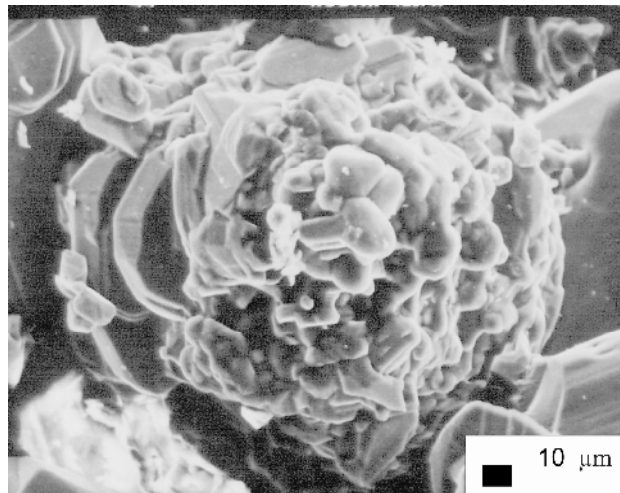
**Fig. 7.** Kamacita formando maclas y en su superficie se observan drusas de composición variable de Fe-Ni, que corresponden a taenita y tetraenaite.



**Fig. 8.** Espectros representativos con EDS de los minerales más abundantes que se encuentran en la meteorita La Charca.

En algunos de sus condros, se observa una cubierta de cristales euhedrales de diferente composición (ferromagnesianos y óxidos) que pudieron formarse

debido a la existencia de suficiente espacio y fluidos que al enfriarse más lentamente por estar dentro de huecos, pudieron cristalizar alrededor del condro (Figura 9).



**Fig. 9.** Cristales de diferente composición que crecieron en la superficie de un condro.

Las características microestructurales en esta meteorita sugieren que sufrió metamorfismo de choque, los cuales son procesos fundamentales que ocurrieron en la historia temprana de la meteorita en su cuerpo parental. El ejemplar presenta indicadores petrográficos claros de choque, como son vetas formadas por metales y sulfuros fundidos, fracturas planares, extinción ondulatoria y mosaicismo en los olivinos, ya reportados anteriormente [2]. Esto, unido a la poca compactación de los clastos producidos por el impacto y depositados en la superficie del planetesimal, creó abundantes huecos, lo que debió permitir que fluidos atrapados pudiesen cristalizar, formando los cristales maclados y drusas, todo lo cual pudo ser depositado sobre superficies in situ desde fases de vapor.

## CONCLUSIONES

La presencia de vesículas, poros, cristales maclados y drusas en la meteorita La Charca posiblemente indiquen una historia de fusión y depósito de fases de vapor por impacto, mientras que la gran porosidad que caracteriza a

esta meteorita puede deberse a que fue expulsada de la parte superficial de un cuerpo parental poco compactado, o bien de la superficie de un planetesimal grande que preservó su costra condritica [8].

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos las valiosas sugerencias y correcciones al presente trabajo por los árbitros.

## REFERENCIAS

- [1] Scott E. R. (2011) "Meteorites: An Overview" *Elements* 7: 47-48.
- [2] Reyes-Salas M., Morales E., Puy M., Reyes O., Macías, Ortega F. Linares C. (2011) "Primer estudio de la Meteorita La Charca por Técnicas Microscópicas" *Acta Microscopica*, Vol. 20 Supp
- [3] Woltzka F., Scherer P., Schultz L., Otto J., Stepniewski M. (1997) "Petrography and noble gases of the unusual L5 chondrites Baszkówka and MyTazerzait L5 chondrites". *Geological Quarterly* 45:257-262.
- [4] Przylibski T., Pilski A. Zagozdzon P., Rszard K. (2003) "Petrology of BaszkówkaL5 chondrite: a record of surface-forming processes on the parent body" *Meteoritics & Planetary Science* 38 (6): 927-937.
- [5] Benedix G., Ketcham R., McCoy T.J. Wilsn L. (2003) "Vesiculation in ordinary chondrites due to impact melting: The "PAT" 91501 answers". *Lunar and Planetary Science XXXIV* 1947 pdf.
- [6] Rubin A.E. (1994) "Euhedral tetraenaite in the Jelica meteorite" *Mineralogical Magazine* 58: 215-221.
- [7] Woltzka, F. (2005) "Cr spinel and chromite as petrogenetic indicators in ordinary chondrites: equilibration temperatures of petrologic types 3.7 to

6" *Meteoritics and Planetary Science* 40 (11): 1673-1702.

- [8] Weiss, B.P., Elkins-Tanto L.P., (2013) "Differentiated planetesimals and parent bodies of chondrite" *Annual Review of Earth and Planetary Science* 41: 529-560.