

Abstract

The first major differentiation in primitive planetesimals is the formation of metal- or metal-sulfide cores. To constrain the time of asteroidal differentiation, meteoritic metals and silicates coexisting with metals were analyzed for W isotopes and Hf and W concentrations. The study focused on silicate inclusions in non-magmatic IAB iron meteorites and the corresponding metal phases as well as on winonaites and acapulcoites were analyzed.

IAB iron meteorites formed by crystallization of metal ponds under low pressure conditions at or near the surface of their asteroidal parent body. The presence of abundant silicate inclusions reflects either incomplete metal-silicate separation or mixing of metal and silicates by impacts. Hafnium-W measurements were performed on magnetic and non-magnetic separates from seven IAB iron meteorites to constrain the exact timing of metal separation, silicate differentiation and metamorphism. IAB metals have a deficit in ^{182}W of -3.1 ± 0.2 ϵ -units (relative to terrestrial standard materials). The silicate fractions in IAB iron meteorites have ϵW values ranging from -3 to +35, indicating that the exchange of W between metals and silicates ceased within the lifetime of ^{182}Hf . Based on a combined IAB silicate isochron defined by three different bulk inclusions, silicate differentiation in the mantle-like reservoir of the IAB parent body must have occurred 2.9 ± 2.2 Myr after the formation of Ca,Al-rich inclusions (CAIs), the oldest objects known from the solar nebula. This event therefore occurred contemporaneously with the main metal segregation event on the IAB parent body at 3.5 ± 2.3 Myr after CAI formation, which is obtained from the W isotope composition of the metal phase (assuming evolution in a chondritic Hf/W ratio before metal separation). Hence, metal segregation and silicate differentiation occurred early enough, so that ^{26}Al was responsible for parent body heating causing differentiation. On the other hand, internal

isochrones for silicates of the two IAB-iron meteorites El Taco and Lueders yield ages 11.3 ± 2.3 Myr and ~ 12 Myr after CAI formation, reflecting impact induced heating and redistribution of radiogenic W. Additional later metal-silicate equilibration on the IAB parent body is also found in Mundrabilla (-2.6 ± 0.5 ϵ - units). Therefore, a prolonged epoch of most likely impact-controlled W reequilibration on the IAB parent body can be inferred. In contrast to the combined IAB silicate isochron, most of the analyzed Winonaites define a combined isochron with an age that postdates CAI formation by 14.5 ± 2.8 Myr. This age is apparently too young for heating and melting of the parent body by an internal heat-source and indistinguishable within uncertainty from the internal El Taco and Lueders isochrones. Assuming a common origin for IABs and winonaites these ages could be related to a single impact-controlled W re-equilibration on the Winonaite/IAB parent body. A combined isochron defined by different Acapulcoite separates yields an age of 4.6 ± 1.3 Myr after CAI formation. This is within the range of Hf-W ages of ordinary chondrites, although Acapulcoites were heated to significantly higher temperatures than ordinary chondrites, implying a higher level of ^{26}Al . Other chronometers indicate fast cooling of acapulcoites, which is difficult to reconcile with similar cooling rates as those of ordinary chondrites.

A comparison with Hf-W literature data shows that asteroidal differentiation on the IAB parent body occurred after the segregation of most magmatic iron meteorites and contemporaneously with the accretion of chondrite parent bodies, lending further support for a revised solar system chronology where chondrites cannot be the precursor of most differentiated asteroids. Chondritic meteorites with higher equilibration temperatures, such as winonaites and acapulcoites have even younger ages. They are certainly no precursor material for iron meteorites and their comparatively younger ages probably reflect an impact origin after accretion of chondrite parent bodies.

Zusammenfassung

Das erste Hauptdifferenzierungsereignis in primitiven Planetesimalen ist die Bildung eines Metall- oder Metall/Sulfid-kerns. Um die Zeit für asteroidale Differentiation herauszubekommen, wurden meteoritische Metalle und Silikate die mit diesen Metallen koexistieren im Hinblick auf die W Isotopie und die Konzentrationen von Hf und W untersucht. In dieser Studie wurden Metalle und Silikat-Inklusionen in nicht-magmatischen IAB Eisenmeteoriten, Winonaite und Acapulcoite untersucht.

IAB Eisenmeteorite haben sich gebildet durch Kristallisation von Metall-Schmelzen unter niedrigen Druckbedingungen an der Oberfläche ihres asteroidalen Mutterkörpers. Das Vorkommen von Silikat-Inklusionen zeugt entweder von inkompletter Metall-Silikat Separation oder von einer impaktbedingten Mischung von Metall und Silikat. Um die genaue Zeit der Metallseparation, Silikatdifferentiation und Metamorphose herauszubekommen wurden Hf-W Messungen an magnetischen und nicht-magnetischen Separaten von sieben IAB Eisenmeteoriten vorgenommen. IAB Metalle haben ein Defizit in ^{182}W von -3.1 ± 0.2 ϵ -Einheiten (relativ zu terr. Standardmaterial). Silikatfraktionen in IAB Eisenmeteoriten haben ϵW Signaturen zwischen -3 to +35. Der Austausch von W zwischen Metallen und Silikaten endete somit innerhalb der Lebenszeit von ^{182}Hf . Basierend auf einer kombinierten IAB isochrone, welche durch drei verschiedene bulk Inklusionen definiert ist, konnte ein Zeitpunkt der Silikatdifferentiation in einem mantelähnlichen Reservoir des IAB Mutterkörpers herausgefunden werden, welcher die Bildung von Ca,Alreichen Inklusionen (CAIs) um 2.9 ± 2.2 Ma postdatiert. Die Silikatdifferenzierung ereignete sich gleichzeitig mit der Metallsegregation im IAB Mutterkörper (3.5 ± 2.3 Ma nach CAI-Bildung). Dieses Alter konnte aus der Wolframisotopie der IAB Metalle gewonnen werden (unter der Annahme

eines chondritischen Hf/W Verhältnisses im IAB Mutterkörper vor der Metallseparation). Metallsegregation und Silikatdifferentiation ereigneten sich somit früh genug um ^{26}Al als eigentliche Wärmequelle anzunehmen. Interne Isochronen für Silikate der IAB Eisenmeteorite El Taco und Lueders ergeben Alter 11.3 ± 2.3 Ma and ~ 12 Ma nach CAI Bildung. Diese Alter reflektieren eine impaktinduzierte Aufheizung und Umverteilung von radiogenem Wolfram. Die Wolframisotopie der Metallphase von Mundrabilla (-2.6 ± 0.5 ϵ -Einheiten) bezeugt eine weitere Metall-Silikat Equilibrierung im IAB Mutterkörper. Somit kann ein längerfristiges Zeitintervall von impaktkontrollierter Wolframequilibrierung abgeleitet werden.

Im Gegensatz zur kombinierten IAB Silikatisochrone liegen die meisten der analysierten Winonaitseparate auf einer Isochrone, welche ein Alter von 14.5 ± 2.8 Ma nach CAI-Bildung ergibt. Die so datierte Equilibrierung ist zu jung um durch interne Hitzequellen erklärt werden zu können. Ferner ist das so erhaltene Alter ununterscheidbar von den El Taco und Lueders isochronen. Einen gemeinsamen Ursprung von IAB Eisenmeteoriten und Winonaiten annehmend, könnten diese Alter auf ein distinktes Impaktereignis auf dem gemeinsamen IAB/Winonait Mutterkörper zurückgeführt werden. Eine Isochrone definiert durch verschiedene Acapulcoitseparate ergibt ein Alter 4.6 ± 1.3 Ma nach CAI-Bildung. Dieses Alter ist vergleichbar mit Hf-W Altern gewöhnlicher Chondrite, obwohl Acapulcoite auf höhere Temperaturen erhitzt wurden, was eine höhere Konzentration an ^{26}Al impliziert. Andere Chronometer zeugen von einer rapiden Abkühlung der Acapulcoite, was schlecht erklärbar ist eingedenk der ähnlichen Abkühlungsraten für gewöhnliche Chondrite.