MIDAS

The MIDAS AFM – modelling and calibration of a space-born atomic force microscope

Programm / Ausschreibung	ASAP, ASAP 10 Projekte	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.05.2014	**Projektende**	30.04.2017
Zeitraum	2014 - 2017	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	Atomic force microscopy comet		

Projektbeschreibung

Das Raster-Kraft-Mikroskop (bzw. AFM für Atomic Force Microscope) MIDAS ist ein einzigartiges Instrument welches dazu entwickelt wurde Kometenstaub zu sammeln und zu analysieren, indem es 3D Abbildungen von einzelnen Staubkörnern und Aggregaten in nm-Auflösung erzeugt. Die gewonnenen Daten werden Antworten auf eine Vielfalt von wichtiger Fragen zu den Entstehungsbedingungen im frühen Sonnensystem und die Beschaffenheit des Kometenmaterials liefern.

MIDAS wurde von einem Konsortium unter Führung des Instituts für Weltraumforschung der Österreischischen Akademie der Wissenschaften konzipiert und hergestellt, und ist das einzige Instrument der Rosetta-Mission mit österreichischem Principal Investigator. Gestartet im Jahr 2004, befindet sich Rosetta derzeit im äußeren Sonnensystem im Schlafmodus und wird im Sommer 2014 aufgeweckt werden um die letzten Rendezvous-Manöver durchzuführen. Das Verständnis darüber wie sich ein AFM in der Weltraum- und Kometenumgebung verhält und wie die Steuerung dieses an sich interaktiven Geräts automatisiert werden kann, ist nicht nur für die Rosetta-Mission entscheidend, sondern auch wichtig um die Entwicklung zukünftiger Raster-Kraft-Mikroskope für Weltraum- und Planetenmissionen zu fördern und die durch MIDAS gewonnene Expertise für Österreich zu erhalten.

Das Proposal behandelt diese wesentlichen Fragen einschließlich derjenigen wie man Abbildungsverzerrungen durch verschiedenste Einflüsse, vor allem aber eine variable thermische Umgebung, am besten korrigiert. Eine Reihe von Tests sind geplant um die Empfindlichkeit des Instruments für diese Effekte zu bestimmen und um eine Korrekturstrategie zu erarbeiten (operationell oder über Updates der Software an Bord). Ursprünglich sollten diese Effekte teilweise durch ein kapazitives Rückkopplungssystem reduziert werden, doch einer der beiden Kanäle wurde beim Start beschädigt. Daher besteht eine weitere Herausforderung darin, die optimale Methode zur Verwendung des verbleibenden Kanals zu finden.

Ein AFM im Labor ist ein sehr interaktives Instrument. Spitzen nützen sich mit der Zeit ab und werden oft ausgetauscht. Die besten Abbildungen erhält ein trainierter Operator durch Anpassung der Betriebsparameter an die jeweilige Probe. Das erstere Problem wird durch die in MIDAS vorhandene Redundanz in Form von 16 Spitzen gemildert. Dennoch bildet die Güte dieser Spitzen den größten limitierenden Faktor für sowohl die wissenschaftliche Qualität der Bilder als auch die Lebensdauer des Instruments. Daher ist die Minimierung der Kräfte zwischen Spitze und Probe lebenswichtig. Dies kann nur

durch numerische Modellierung erreicht werden, unter Berücksichtigung des einzigartigen Prinzips nach dem MIDAS arbeitet. Das Open-Source Simulationsprogramm VEDA AFM wird dahingehend modifiziert werden, die Annäherungskurve (Kraft über Weg) von MIDAS zu modellieren. Begonnen wird mit einer Prozedur zur Ableitung aller notwendigen Eingangsparameter über die Instrument-Telemetriedaten. Sobald das Modell validiert ist, wird es dazu verwendet werden, den Betriebsparameterraum zu erforschen (Cantilever-Amplitude, Arbeitspunkte usw.) um zu bestimmen welche Kombination die Kräfte zwischen Spitze und Probe minimiert und daher die Lebensdauer der Spitzen maximiert.

Der Betrieb von MIDAS ist darüber hinaus eine Herausforderung wegen der langen Signallaufzeit zu Beginn des Projekts und der langen Vorlaufzeiten für die Planung der Messungen und das Kommandieren des Instruments. Dies bedeutet dass neuartige Strategien entwickelt werden müssen, wobei sowohl passende Planungswerkzeuge erstellt als auch Autonomie an Bord so weit wie möglich einbezogen werden müssen.

Alle genannten Schritte zusammen sollten sicherstellen dass MIDAS in einer Weise betrieben wird welche Rohdaten in hoher Qualität liefert, die dann nach Kalibrierung und Entfernung von Artefakten schließlich einen optimalen Satz wissenschaftlicher Daten zur Archivierung und Auslieferung an das Wissenschafterteam ergeben.

Abstract

The MIDAS Atomic Force Microscope (AFM) is a unique instrument designed to collect and analyse cometary dust, producing 3D images of individual dust grains and aggregates with nanometre-scale resolution. The data collected will address a variety of key questions about the formation environment of the early Solar System and the nature of cometary material.

MIDAS was designed and built by a consortium led by the Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften and is the only Austrian Principal Investigator instrument on-board the Rosetta mission. Launched in 2004, Rosetta is currently in hibernation and will wake up and complete final rendezvous manoeuvres in summer 2014. Understanding how an AFM behaves in the space and cometary environment, and how control of such an inherently “hands on” instrument can be automated, are critical both for the Rosetta mission, but are also important to facilitate the development of future space AFM instruments and to maintain the Austrian expertise gained with MIDAS.
This proposal addresses these key issues, including how best to deal with image distortion induced by a variety of factors. A series of tests is planned to determine the sensitivity of the instrument to these effects and devise a strategy (operational or by updating on-board software) to mitigate them. Originally some of these effects should have been reduced by a closed loop capacitive feedback system, however one of two channels was damaged during launch. Another challenge is thus to find the optimal way to use the remaining channel.

In the laboratory an AFM is a very interactive instrument. Tips are worn down over time and frequently replaced and the best images are obtained by a trained operator who adapts the operating parameters to the sample at hand. The first of these problems is mitigated on MIDAS by carrying sixteen tips for redundancy. Even so, the quality of these tips is a major limiting factor to both the quality of the science and the instrument lifetime. As such, minimising the tip-sample force is critical. This can only be done by numerical modelling, taking into account the unique way in which MIDAS operates. The open source VEDA AFM simulation tool will be modified here to model a MIDAS approach (cantilever amplitude versus distance) curve, first deriving a procedure to measure all of the necessary input parameters from instrument telemetry alone. Once validated, this model will be used to explore the operating parameters space (cantilever amplitude, working and set points

etc.) to determine which setting results in the minimum tip-sample force and maximum tip lifetime.

Operating MIDAS is also a challenge due to the large one-way light time at the start of the project, and the large lead-in times for planning operations and instrument commanding. These mean that novel strategies must be developed both by developing suitable ground-based planning tools and also by using on-board autonomy as much as possible.

Taken together all of these steps should ensure that MIDAS is operated in a way returns high quality raw data, which can then be calibrated and artefacts removed to eventually yield an optical science data set for archiving and delivery to the science team.

Projektpartner

- Österreichische Akademie der Wissenschaften Institut für Weltraumforschung (IWF)