



SIMULATION DER STAUBTEILCHEN- BEWEGUNG IM PLASMA

Für optische Anwendungen ist es notwendig, möglichst reine Oberflächen zu erzeugen. Bereits kleinste Verunreinigungen können die Wirksamkeit der gesamten Schicht herabsetzen oder gar komplett zerstören. Staub stellt hier eine besondere Herausforderung dar, da der technische Aufwand seiner generellen Vermeidung in Beschichtungsanlagen mit dem gewünschten Reinheitsgrad stark ansteigt. Mittels einer am Fraunhofer IST entwickelten Teilchensimulation ist es nun möglich, die Verunreinigung von Staub in Plasma-Beschichtungsanlagen vorherzusagen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Minimierung der Anzahl von Defekten im Zuge der späteren Optimierung von Beschichtungsprozessen geleistet.

Der Lösungsansatz

Staub lässt sich nicht komplett vermeiden, daher ist es eine Strategie zur Minimierung der Anzahl an Defekten, Staub zwar zu tolerieren, ihn jedoch von den Oberflächen fernzuhalten. Dazu ist ein gutes Verständnis des Verhaltens von Staub im Plasma einer Beschichtungsanlage notwendig. Dies wird jedoch durch eine Vielzahl an Phänomenen erschwert, welche aus der Wechselwirkung zwischen Plasma und Staub resultieren. Um alle Einflüsse in guter Näherung nachvollziehen und vorhersagen zu können, ist es sinnvoll, Simulationen dazu durchzuführen. Zu diesem Zweck wurde am Fraunhofer IST ein spezielles Programm zur Staubteilchen-Simulation geschrieben.

Die Implementation

Die Staubteilchen in der Simulation werden vereinfacht als homogene Kugeln dargestellt, welche eine positive oder negative Ladung tragen können. Sie befinden sich in einer virtuellen Anlage, deren Geometrie aus dreieckigen Oberflächen zusammengesetzt ist, und werden dort an zufälligen Punkten generiert.

Die charakteristischen Parameter des Anlagenplasmas wie z. B. Dichte, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit werden aus separaten ebenfalls am Fraunhofer IST entwickelten Plasma-Simulationen gewonnen. Aus diesen Parametern können schließlich die Oberflächenströme und Kräfte auf die Staubteilchen berechnet werden, woraus eine dynamische Änderung der Ladung sowie der Geschwindigkeit und somit des Ortes der Teilchen erfolgt. Dies geschieht in regelmäßigen Zeitabständen, über die die Genauigkeit der Simulation gesteuert werden kann. Relevante Effekte auf Staubteilchen sind:

- ▮ Die direkte Reibung durch Neutralgas und Plasma
- ▮ Die Abstoßung und Anziehung der elektrostatischen Potenziale zwischen geladenem Staub und Ionen
- ▮ Die Tendenz von Teilchen, Wärmeströmen zu folgen

Makroskopische Kräfte wie Gravitation und Elektromagnetismus werden ebenso in der Simulation berücksichtigt wie die Interaktion von Staub mit Oberflächen durch Reflexion oder Absorption der Teilchen.

Nutzung der Resultate

Lässt man die Simulation für eine Vielzahl von Startpunkten und unterschiedlichen Teilchenarten durchlaufen, können Orte identifiziert werden, an denen sich statistisch besonders viele Staubteilchen sammeln oder von denen besonders viele Teilchen ausgehen. Daraus lassen sich individuelle Strategien zur effektiven Vermeidung von Kontaminationen ableiten, die ihrerseits wiederum durch weitere Simulationen optimiert werden können.

Ausblick

Durch den Einsatz des Programms zur Staubteilchen-Simulation könnten mit weitaus weniger Aufwand deutlich genauere und reinere optische Schichten erzeugt werden. Die Genauigkeit kann mittels Ergänzung weiterer Kräfte und Einflüsse erhöht werden, sodass die Prozesse, die für die Staubbelastung verantwortlich sind, noch besser untersucht werden können. Eine Erweiterung des Konzepts auf andere Anwendungsgebiete mit Plasmen ist ebenfalls denkbar.

1 *Simulation eines Mikro-partikels in der EOSS®-Anlage mit farblich dargestellter Ladung.*

2 *Simulation von zehn Nanopartikeln, ebenfalls in der EOSS®-Anlage.*

KONTAKT

Philipp Schulz, M.Sc.

Telefon +49 531 2155-668

philipp.schulz@ist.fraunhofer.de