



TU Chemnitz

FGLA

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

DFG

TP 12



FSU Jena

Silicium-Nanokristallite in Matrizen und ihre Beziehung zur Extended Red Emission

Friedrich Huiskens, Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg
Wolfgang Witthuhn, Institut für Festkörperphysik, Universität Jena

Silicium-Nanokristallite werden als Träger der sogenannten Extended Red Emission (ERE), eines zuerst im Roten Rechteck beobachteten astrophysikalischen Leuchtphänomens, diskutiert. Während der Silicium-Festkörper nicht zum Leuchten angeregt werden kann, zeigen Silicium-Nanoteilchen mit Durchmessern von weniger als 10 nm aufgrund quantenmechanischer Effekte ein intensives Leuchten im Spektralbereich zwischen 700 und 1000 nm, der exakt mit dem Spektralbereich der ERE übereinstimmt. Frei fliegende und mit Sauerstoff passivierte Silicium-Nanoteilchen sollten allerdings eine von der Oxidhülle herrührende Emission bei 21 μm zeigen, was de facto nicht beobachtet wird. Eine mögliche Lösung des Problems wäre die Möglichkeit, dass die Silicium-Nanokristallite in größere Staubteilchen eingebettet sind. Wegen der niedrigeren Temperatur würde man die 21- μm -Emission nicht erwarten, während die Emission der Si-Kristallite nur wenig beeinflusst sein sollte.

Im vorliegenden Projekt wurden unter Einsatz der Ionenbeschleuniger des Instituts für Festkörperphysik der Universität Jena Silicium-Ionen in Quarz-Fenster (SiO_2) eingebettet, so dass ein Überschuss an Silicium entsteht. Durch Tempern der Proben bei Temperaturen von 1000 °C und höher kondensieren die überschüssigen Silicium-Atome zu Nanoteilchen, die anschließend beim Abkühlen kristallisieren. Werden die Proben mit UV-Licht bestrahlt, so zeigen sie eine starke Photolumineszenz (PL), die mit den nanoskopischen Dimensionen der Si-Kristallite erklärt werden kann (Quantum Confinement).

Die optischen Eigenschaften der in SiO_2 eingebetteten Si-Nanokristallite wurden als Funktion der Ionenimplantationsparameter, der Temperbedingungen und der Proben temperatur untersucht, wobei sich die Studien auf die spektralen und zeitlichen Abhängigkeiten konzentrierten (PL-Spektren und PL-Abklingkurven). Um die Umgebung von magnesiumreichen Silikaten (Forsterit und Enstatit) zu simulieren, wurden in einem zweiten Arbeitsgang die zuvor mit Si-Nanokristalliten angereicherten Quarz-Fenster mit Magnesium-Ionen unterschiedlicher Dosis bestrahlt. Es zeigte sich, dass die Photolumineszenz der Si-Nanoteilchen erheblich vermindert („gequenscht“) wird, wenn die Dichte der umgebenden Mg-Ionen ansteigt. Andere Elemente wie Ca, Na und Ge zeigen denselben Trend. Es kann angenommen werden, dass das Quenschen der Photolumineszenz auf das Entstehen von Defekten zurückzuführen ist, die durch die positiven Ladungsträger (Löcher) in den Kristalliten verursacht werden. Diese entstehen dadurch, dass die Elektronen der bei der Anregung erzeugten Excitonen von den Fremdionen im Grenzbereich zwischen dem Kristallit und der Matrix eingefangen werden. Nur für Erbium (Er) konnte ein Energietransfer der Anregung beobachtet werden, der zu einer für das Er-Ion charakteristischen Emission bei 1536 nm führt.

Was die astrophysikalischen Implikationen angeht, so kann aus den vorliegenden Experimenten geschlossen werden, dass Si-Nanokristallite auch weiterhin vielversprechende Kandidaten für die Extended Red Emission darstellen, wenn sie entweder zu größeren Clustern agglomeriert oder in SiO₂-Teilchen eingebettet sind. Im Gegensatz dazu können Si-Nanokristallite, die sich in Silikat-Staubteilchen befinden, nicht zur Emission beitragen, da hier eine strahlungslose Rekombination der Excitonen an den Defekten stattfindet, die von der Wechselwirkung der Elektronen mit der Umgebung herrühren.