



**MASTER'S DEGREE PROGRAMME**

**Sustainable Energy Systems**

---

**Exposé**

**Nanoscale mountains and gorges features  
for light trapping**

**by**

**Peter Hirner**

**December 2021**

---

## Exposé-English

To increase the power conversion efficiency (PCE) of solar cells (SC), there are many methods. One of which is, to extend the path length of the incident light in terms of light trapping. This can also be achieved to a certain extent by thickening the photoactive layer, but this increases material consumption. However, in order to save resources and costs, improved light trapping methods will be necessary for the next generation of solar cell types, such as thin film or perovskite solar cells.

In the same way as thickening, the effect of extending the path for absorption by refraction of light can be achieved. For this purpose, it is necessary to apply nanostructures on top of a solar cell. This should direct the incident light in a flatter angle towards the photoactive layer. In this way, the light absorption path and the optical thickness is extended, which has the same effect as the thickening of the absorber in a solar cell.

Such light-scattering nanostructures on the top surface can be used for different types of solar cells. Since thin-film or perovskite solar cells use a thinner photoactive layer, this technique is particularly suitable for this technology, since the nanostructure is located as part of the encapsulation on the top layer instead of applying nanostructures directly on the photoactive layer.

An etching process is applied to further modify a transparent UV-cured polymer (OrmoStamp), which is already in a nanopyramid shape. Slits are etched into the nanopyramid to reduce reflection and improve refraction. At the same time, due to the superimposed nanopyramid shape of the surface, the path length of the incident light should also be extended. These two effects are expected to cause a longer path of light in the solar cell, which ultimately leads to a higher PCE.

As the SEM images show, both types of pyramids are almost perfectly aligned and uniformly shaped when comparing the morphology of the etched nanopyramids and the reference nanopyramids.

While the etched pyramids show a lower direct transmittance than the reference nanopylramids, this suggests an increased amount of diffuse transmission. This in turn means that the incident light is refracted at a shallower angle. This preferential light redirection could therefore be useful for solar cells or photosensitive sensors, which can be applied to these fabricated devices.

In summary, through certain etching processes, a nanostructure of transparent UV-curable polymer can be fabricated that exhibits lower direct transmission than non-etched substrates. This can subsequently be beneficial for increasing the efficiency of solar cells.

## **Exposé-Deutsch**

Um die Leistungsumwandlungseffizienz (PCE) von Solarzellen (SC) zu erhöhen gibt es viele Methoden, eine darunter ist die Verlängerung der Weglänge des einfallenden Lichtes im Sinne von Lichtmanagement. Dies könnte bis zu einem bestimmten Ausmaß auch durch Verdickung der photoaktiven Schicht erreicht werden, was jedoch den Materialverbrauch erhöht. Jedoch um Ressourcen und Kosten zu sparen, wird für die nächste Generation an Solarzellentypen, wie Dünnschicht- oder Perovskitsolarzellen verbesserte Lichtmanagementmethoden notwendig sein um höhere Leistungsumwandlungseffizienz (PCE) erzielen zu können.

In gleicher Weise wie eine Verdickung, soll durch eine Wegverlängerung durch die Brechung des Lichts eine erhöhte Absorption erreicht werden. Hierzu ist es notwendig eine Nanostruktur auf die Oberseite einer Solarzelle zu applizieren. Diese soll das einfallende Licht in einem flacheren Winkel in Richtung der photoaktiven Schicht lenken. Auf diese Weise wird der Lichtabsorptionsweg bzw. die optische Weglänge vergrößert und man erreicht somit den gleichen Effekt wie durch die Verdickung der Absorptionsschicht in der Solarzelle.

Solche lichtstreuenden Nanostrukturen an der Oberseite können für verschiedene Solarzellentypen verwendet werden. Da Dünnschicht- oder Perovskitsolarzellen eine dünnere photoaktive Schicht verwenden, ist diese Technik hierfür besonders geeignet, da sich die

Nanostruktur direkt auf dem Verkapselungsmaterial anstelle der photoaktiven Schicht befindet.

Durch ein Ätzverfahren wird ein transparente UV-gehärtetes Polymer (OrmoStamp), welches bereits in einer Nanopyramidenform ist weiter modifiziert. Es werden Schlitzte, in die Nanopyramidenform geätzt, welche die Reflexion senken und die Lichtbrechung verbessern sollen. Gleichzeitig soll aufgrund der überlagerten Nanopyramidenform der Oberfläche auch die Weglänge des einfallenden Lichts verlängert werden. Diese beiden Effekte sollen einen verlängerten Weg des Lichtes in der Solarzelle bedingen, welches im Endeffekt zu einem höheren PCE führen soll.

Wie die REM-Aufnahmen zeigen, sind beide Pyramidentypen nahezu perfekt ausgerichtet und einheitlich geformt, wenn man die Morphologie der geätzten Nanopyramiden und den Referenz- Nanopyramiden vergleicht.

Während die geätzten-Pyramiden einen niedrigeren direkten Transmissionsgrad zeigen als die der Referenz- Nanopyramiden lässt dies auf einen erhöhten Anteil an diffuser Transmission schließen. Dies bedeutet wiederum das das einfallende Licht in einem flacheren Winkel gebrochen wird. Diese bevorzugte Lichtlenkung könnte somit nützlich für Solarzellen oder Sensoren sein, welche man auf diese gefertigten Bauteile auftragen kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch bestimmte Ätzverfahren eine Nanostuktur aus transparente UV-härtbare Polymer hergestellt werden kann welche eine niedrigere direkte Transmission als nichtgeätzte Substrate zeigt. Dies kann in Folge von Vorteil für die Effizienzsteigerung für Solarzellen sein.