

Strom aus Infrarotenergie via Quantentunnelung

Eine Zusammenstellung von Dipl.-Ing. Adolf Schneider

Ein Forschungsteam der König-Abdullah-Universität für Wissenschaft und Technologie in Saudi-Arabien (KAUST) hat ein Proof-of-Concept-Gerät entwickelt, das Infrarotstrahlung plus Abwärme nutzt, wie sie bei Industrieprozessen anfällt. Hierzu werden Schwingungen mit Wellenlängen von Billiardstel Sekunden eingefangen und in nutzbare Elektrizität umwandelt. Mit der Herstellung von Millionen solcher Mini-Wellensensoren liesse sich die globale Stromerzeugung verbessern, so hoffen die Forscher. Das ist jedenfalls ein weiterer Schritt in Richtung Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen.

Spezielle Nano-Antennen

Um diesen Prozess zu ermöglichen, werden sogenannte "rectenna"-Anordnungen¹ verwendet, die hochfrequente elektromagnetische Wellen in Gleichspannung konvertieren. Hierzu dienen Antennen im Mikro- oder Nano-Skalenbereich, deren Herstellung jedoch nicht einfach ist. Eine weitere Herausforderung liegt in der Tatsache, dass Infrarotwellen tausendmal schneller oszillieren, als sich Elektronen typischerweise durch Grenzschichten bewegen.

Die Suche nach geeigneten Nanoantennen-Anordnungen mit integrierten Gleichrichterioden hatte schon viele Jahre zuvor eingesetzt. So hatten die italienischen Forscher Luciano Mescia and Alessandro Massaro bereits 2014 eine ausführliche Arbeit über neue Trends zum Energieeinsammeln im Bereich der langwelligen Infrarotstrahlung publiziert, die von der Erde in den Weltraum emittiert wird². Ihr spezielles Augenmerk fokussierte sich schon damals auf die Entwicklung sogenannter Gleichrichterantennen. Die Idee zu einem solchen Konzept wurde bereits 30 Jahre zuvor entwickelt, vor allem im Zusammenhang mit der Nutzung von Mikrowellenstrahlung. Doch bis zur

Entwicklung einer Nano-Diode, die auch im wesentlich kurzwelligeren Bereich des Infrarotlichts arbeiten kann, war noch ein weiter Weg.

So bestätigte Atif Shamim, Projektleiter des neuen saudischen Entwicklungsteams im Jahr 2018, dass es weltweit noch keine kommerziell hergestellte Diode gibt, die bei derart hohen Frequenzen funktioniert.

Die Lösung wurde schliesslich durch sogenanntes "Quantentunnelung" gefunden³. Um die für das Tunneln erforderlichen hohen Felder zu erzeugen, verwendete das Team der König-Abdullah-Universität eine bogenförmige Nano-Antenne, bei der eine Isolatorfolie zwischen zwei leicht überlappende Metallarme geschichtet ist.

Die verwendeten Metall-Isolator-Metall(MIM)-Dioden richten Infrarotwellen in nutzbaren Strom gleich, indem sie Elektronen durch eine kleine Barriere bewegen. Da diese Barriere nur einen Nanometer dick ist, können MIM-Dioden Hochfrequenzsignale in der Grössenordnung von Femtosekunden verarbeiten. Eine Femtosekunde (1 fs) entspricht 10^{-15} Sekunden.

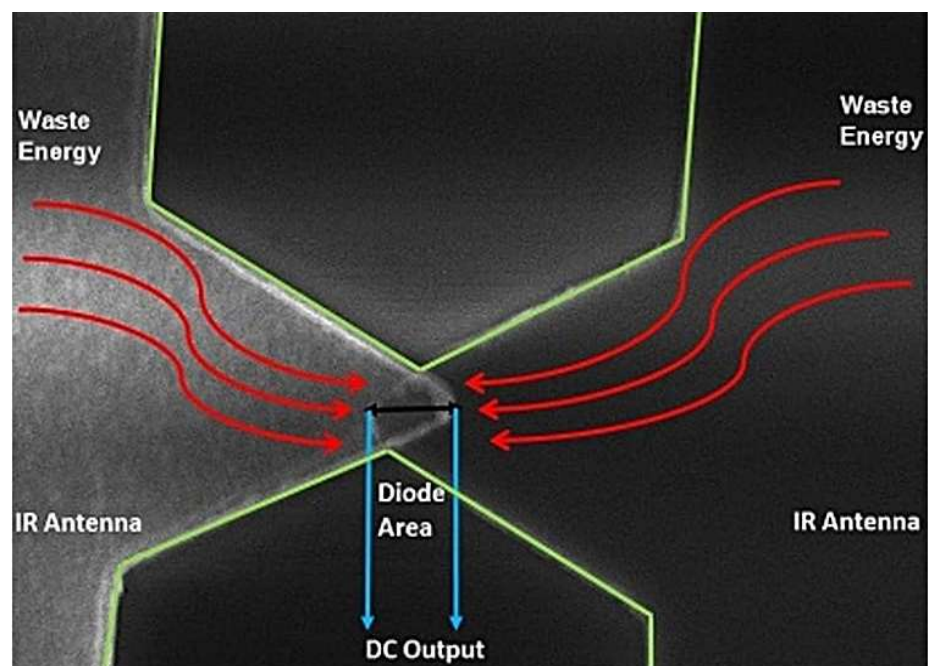
Gleichrichtung ohne Zusatzenergie

"Die größte Herausforderung war die nanoskalige Überlappung der beiden Antennenarme, die eine sehr präzise Ausrichtung erforderte. Durch Kombination cleverer Tricks mit den fortschrittlichen Werkzeugen in der Nanofabrikationsanlage von KAUST haben wir dieses Ziel schliesslich erreicht", sagte der Postdoktorand Gaurav Jayaswal.

Der entscheidende Vorteil dabei ist, dass die neue MIM-Diode die Infrarotwellen ohne eine externe Spannung, also ohne Batterie, einfangen kann.

Ausführliche Experimente mit Infrarotbelichtung zeigten, dass die schmetterlingsähnliche Antenne erfolgreich Energie gewinnt, wobei diese ausschließlich aus der Infrarotstrahlung und nicht aus thermischen Effekten stammt.

"Dies ist erst der Anfang - ein Beweis für das Konzept", sagte Projektleiter Shamim. "Wir könnten Millionen solcher Geräte anschließen lassen, um die gesamte Stromerzeugung zu steigern".



Metall-Isolator-Metall(MIM)-Diode zur direkten Umwandlung von Wärmestrahlung in Strom.

Ein ausführlicher Artikel über das Projekt "Optische Gleichrichtung durch eine passive MIM-Antenne auf Al₂O₃-Basis bei 28,3 THz" wurde in der Zeitschrift "Materials Today Energy" veröffentlicht⁴.

Breiter Einsatzbereich

Der nutzbare Temperaturbereich liegt zwischen -23 Grad C und 1227 Grad C, also bei Infrarot-Wellenlängen zwischen 2 bis 11 Mikrometer. wie aus einer weiteren wissenschaftlichen Studie hervorgeht⁴. Quellen für solche Strahlung sind industrielle Prozesse, die in Form von Hoch- und Niedertemperaturwärme auftreten.

Eine weitere Quelle für Wärmeenergie ist die solare Infrarotstrahlung, die im Bereich zwischen 5 und 15 Mikrometer anzusiedeln ist. Dieser Anteil wird zu 80% von der Atmosphäre und der Erdoberfläche absorbiert, also direkt in Wärme umgewandelt. Nach Schätzungen von Experten würden diese Strahlungen Millionen von GigaWatt erzeugen. Im Vergleich dazu produziert das Kernkraftwerk Gravelines, das stärkste in Frankreich, "nur" 5,46 Gigawatt.

Die Forscher der erwähnten Studie haben nach Auswertung verschiedener Simulationen erkannt, dass die Wahl des Materials, die Dielektrizitätskonstante und die gewählte Dicke

der MIM-Dioden eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung von Infrarotenergie in elektrische Leistung spielen.

Der Trick mit dem Tunneleffekt

Bis zum damaligen Zeitpunkt gab es kein Gerät auf der Welt, das Infrarot-Wellen in einem einzigen Prozess in Elektrizität umwandeln konnte. Um dies zu erreichen, setzten die Forscher den Tunneleffekt ein, ein Phänomen, das in der Quantenmechanik sehr verbreitet ist.

Das einfachste Beispiel, um dies zu verstehen, ist das eines Balls, der einen Hügel hinaufrollen soll. Wenn der Ball in der klassischen Physik nicht mit genügend Energie angetrieben wurde, kommt er nicht nach oben. Aber in der Quantenphysik kann der Ball dank des Prinzips der Ungewissheit, das für die Welt des unendlich Kleinen gilt, auch mit begrenzter Energie quasi unter dem Berg hindurchschleichen.

Um dieses Phänomen auszunutzen, bauten die Forscher in ihrem speziellen Labor eine Nanodiode, die Infrarotwellen in Energie umwandeln kann, so dass die Elektronen nur eine kleine Barriere passieren mussten. Alles, was sie tun mussten, war, Antennen zu erzeugen, die gleichzeitig ein Magnetfeld aufbauen, das

stark genug ist, um die Elektronen durch eine solche Barriere "hindurchzudrücken", was mit dem "Hügel" im vorherigen Beispiel verglichen werden kann⁵.

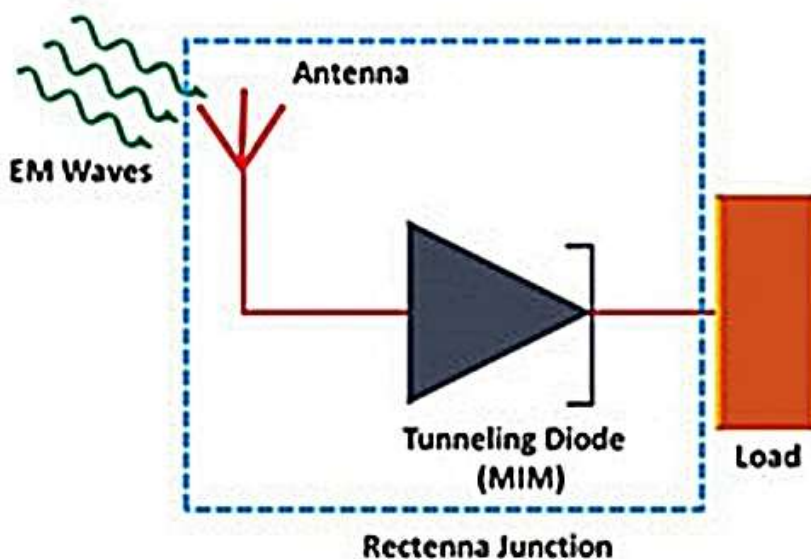
In einer Experimentalanordnung konnte so bei einer Frequenz von 28,3 THz (10,6 km) ein vollständig passives Rectenna-Design demonstriert werden. Als Isolierschicht zwischen den beiden Arbeitsfunktionsmetallen Gold und Titan diente Aluminiumoxid Al₂O₃.

Die sogenannte Schmetterlings-Antenne wurde dahingehend optimiert, dass die Felder in der Lücke zwischen den beiden Armen verstärkt werden. Da diese Felder sehr lokalisiert sind, wurden die beiden Arme überlappt, um die MIM-Diode genau an dem Punkt mit der höchsten Konzentration der erfassten Felder realisieren zu können.

Nanoantennen auf Plastikfolie

Erste Forschungsarbeiten zum Einfangen von infrarotem Licht mittels Antennen im Nanobereich gehen auf das Jahr 2008 zurück⁶. Damals berichtete ein amerikanisches Team um Steven Novack am Idaho National Laboratory (INL), dass sie ein System von Nanoantennen entwickelt hatten, die auf einer Plastikfolie aufgebracht sind und insbesondere Infrarotstrahlung im mittleren Bereich, also Wärme, in Strom umwandeln. Hier soll die Ausbeute - zumindest auf Laborniveau - sogar über 80% betragen haben. Ein weiterer Vorteil ist, daß die günstig herstellbaren flexiblen Folien auch gut als stromproduzierende Hüllen für Handys und andere Elektronik-Produkte geeignet sind.

Die Nanoantennen können aus einer Reihe von Materialien gefertigt werden, darunter Gold, Mangan und Kupfer, und werden auf speziell behandeltes Polyethylen aufgebracht. Auf einer Kreisfläche von rund 15 cm Durchmesser finden sich dabei über 10 Millionen. der winzigen Antennen. Die Wissenschaftler konstruierten auch entsprechende Computermodelle, um die Nanoantennen weiter optimieren zu können. Mit den richtigen Materialien, Formen und Größen



Prinzipschaltung einer Tunnelndiode, die elektromagnetische Wellen im Infrarotbereich einfängt und direkt in Strom umwandelt. Schlüssel der Erfindung sind sogenannte "rectennas", also Gleichrichterantennen, die Hochfrequenzenergie direkt in Gleichstrom umwandeln.



Spezielle Solarfolie, die infrarotes Licht, also Wärmestrahlung, direkt in Strom umsetzen kann.

erreichten die simulierten Modelle einen Wirkungsgrad von bis zu 92% bei der Umwandlung von Infrarotstrahlung in elektrischen Strom. Forschungspartner bei diesen Arbeiten sind Wissenschaftler der University of Missouri sowie der in Cambridge/Massachusetts beheimateten Firma MicroContinuum Inc.

Die Idee zu Nano-Solarzellen wurde schon im Jahr 2005 geboren⁷. Damals war es Wissenschaftlern der Universität von Toronto um Prof. Ted Sargent zum ersten Mal gelungen, mittels Nanopartikeln ein geeignetes Polymer-Material so zu verändern, daß es auch die Infrarotstrahlung der Sonne in Strom umwandeln konnte. Die Substanz läßt sich wie Farbe auf Trägermaterialien aufsprühen. Somit wäre es denkbar, dass beispielsweise die Lackierung eines Elektrofahrzeugs laufend die Batterie nachladen kann. Dabei sind diese Art von Infrarotzellen noch nicht einmal auf die Sonne angewiesen, sondern in der Lage, Wärmestrahlung auch aus jeder anderen Quelle zu nutzen. Als potenzieller Wirkungsgrad wurden damals bis zu 30% errechnet.

Energiegewinnung aus unsichtbarer Strahlung

Zu diesem Thema hatte der Verfasser dieses Übersichtsbeitrages bereits 2019 im März/April-Heft des "NET-Journals" einen eigenen Beitrag verfasst⁸. Dort wurden u.a. die

Arbeiten der beiden Harvard-Physiker Federico Capasso und Steven J. Byrnes erwähnt. Diesen Forschern war es gelungen, die Wärmestrahlung der Erde bzw. alle Infrarot-Emissionen direkt in Energie umzuwandeln. Caltech-Physiker prüften ebenfalls die Möglichkeit, die nicht sichtbaren Anteile des Sonnenlichts direkt in Strom zu konvertieren, und zwar auf der Basis von metallischer Plasmomon-Resonanz. Der Trick besteht darin, geeignete feine Nanostrukturen aufzubauen und diese in großflächige Folien zu integrieren.

Als Vision der Zukunft ist es denkbar, dass ganze Häuserfronten Energie aus der Umgebung einfangen und der Strom so lokal produziert werden kann. Auch werden keine Milliarden an Akkumulatoren mehr für Kleingeräte wie Uhren, Handys, Laptops mehr benötigt, wenn Energie direkt aus der Umgebung erfasst und umgewandelt werden kann.

Nutzung von Partikel- resp. Neutrinostrahlung

Unter unsichtbarer Strahlung werden nicht nur elektromagnetische Strahlungskomponenten, sondern auch Partikelstrahlung wie Gravitationsstrahlung oder Neutrinostrahlung verstanden. Während Gravitonen noch kaum erforscht sind, weiß man von Neutrinos schon lange, dass diese mit Materie wechselwirken können. Deren Strahlung aus dem Weltall bzw. von der Sonne wird von Experten als heißer Kandidat für eine künftige Energiegewinnung gehandelt. Tatsächlich befinden sich nach Abschätzungen der Astrophysiker im heutigen Kosmos - 13,8 Milliarden Jahre nach dessen Entstehung - immer noch 3,2 hoch 84 Neutrinos im Weltall, eine unvorstellbar große Zahl⁹.

Der Physiker und Buchautor Sigwart Zeidler hat ausgerechnet, dass bei optimaler Wandlung der Energie der solaren Neutrinos, die auf der Fläche eines A4-Blattes eintreffen, maximal 62 W gewonnen werden könnten¹⁰. Praktisch ist es bis heute gelungen, etwa 3 W auf dieser Fläche zu "ernten" und zu nutzen. Da man aber entsprechende Folien beliebig dicht aufeinanderlegen

könnte, wäre es denkbar, im Volumen eine "Pilotenkoffers" ein Kleinkraftwerk mit einer Leistung von 4,5 bis 5,5 kW unterzubringen.

Die Firma, die sich der Verwirklichung solcher Konzepte verschrieben hat, ist die "Neutrino Energy Group" unter CEO Holger Thorsten Schubart, die weltweite Forschungen auf diesem Gebiet laufen hat¹¹. Konkretes Ziel für die nächste Zukunft ist die elektromobile Innovation mit der Automarke Pi. Ein solches Elektrofahrzeug benötigt keine Ladesäulen mehr, womit es auch keine Reichweitenproblematik mehr gibt¹². Das Ladekabel wird nur noch benötigt, um überschüssige Energie in das bestehende Netz abzugeben. Die kleinen Batterien, die eingesetzt werden, dienen lediglich als Puffer, um hohe Belastungsspitzen - zum Beispiel bei Überholvorgängen - abzufangen oder überschüssig gewandelte Energie zwischenspeichern.

Literatur:

- 1 Rectenna, aus dem Englischen von rectifying antenna abgeleitet, also gleichrichtende Antenne, Näheres siehe unter Wikipedia
- 2 Mescia, Luciano/Massarò, Alessandro: New Trends in Energy Harvesting from Earth Long-Wave Infrared Emission, in "Advances in Materials Science and Engineering", Volume 2014, Article ID 252879, <https://www.hindawi.com/journals/amse/2014/252879/>
- 3 <https://www.theengineer.co.uk/diode-infrared-kaust/>
- 4 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468606917301739> Volume 7, March 2018, Pages 1-9
- 5 <https://www.econologie.de/forums/Solarthermische/Tunneleffekt-quantum-I-Energie-unendlich-du-Strahlung-Infrarot-115562.html>
- 6 http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_04_09_sonne_pv_typen_2.htm#Infrarot_Zellen
- 7 http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_04_10_sonne_pv_typen_3.htm#NANO_Zellen
- 8 Schneider, Adolf : Energiegewinnung aus unsichtbarer Strahlung, in "NET-Journal", Nr. 3-4, 2019, S. 10, www.borderlands.de/net_pdf/NET0319S10
- 9 Schneider, Adolf und Inge: Energy Harvesting - Energie aus der Umgebung, Jupiter-Verlag 2019, S. 20.
- 10 <http://www.borderlands.de/Links/Neutrino-Energie-Umsetzung.pdf>
- 11 <https://firmen.n-tv.de/neutrino-inside.html>
- 12 <https://www.meinautomagazin.de/automarke-pi-der-neutrino-energy-group-als-elektromobile-innovation/>