

1 EINFÜHRUNG

Eines der größten Probleme unserer Zeit ist die Sicherstellung der Energieversorgung unserer modernen Industriegesellschaft. Bis heute treibt die Menschheit Raubbau mit diesbezüglichen Ressourcen ohne Rücksicht künftiger Generationen, indem Vorräte fossiler Energien, die sich in Millionen von Jahren angesammelt haben, verbraucht werden. Das Leben von Vorratsquellen funktioniert allerdings nur solange, bis die Vorräte erschöpft sind. Außerdem entstehen ernsthafte Folgeprobleme, wenn wir die Energie, die durch Photosynthesevorgänge im Laufe vieler Millionen Jahre gebunden wurde, in einem Bruchteil dieser Zeit wieder freisetzen [1]. Bei dem Verbrauch der fossilen Energieträger wird mit der Freisetzung der Energie gleichzeitig CO₂ gebildet, welches den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre erhöht. Dieser Anstieg des CO₂-Anteils der Atmosphäre ist die Hauptursache für den anthropogenen Treibhauseffekt.

Nach unabhängigen Rechnungen verschiedener Gruppen wird die Zunahme der Treibhausgase im nächsten Jahrhundert eine globale Erwärmung von etwa $3 \pm 1,5$ °C verursachen [2]. Wenn wir unsere zukünftige Energieversorgung nicht auf andere Energiequellen umstellen, wird es zum Schmelzen der Polkappen und zu einem Anstieg des Meeresspiegels sowie zu weiteren besorgniserregenden Klimaveränderungen kommen. In der Zukunft wird der Energiebedarf der Menschheit weiter steigen, da die Weltbevölkerung stetig zunimmt und die Menschen in ihren Konsumansprüchen zugleich anspruchsvoller werden. Auch wenn „Energiesparen“ in Amerika ein Fremdwort ist [3], bringt Energieverschwendung Gefahren mit sich, die uns alle betreffen. Durch Energiesparmaßnahmen läßt sich die Verstärkung des Treibhauseffektes höchstens verlangsamen, aber nicht stoppen. Wenn wir die Überhitzung unserer Atmosphäre mit den oben beschriebenen fatalen Folgen für Mensch und Umwelt verhindern wollen, muß die Energieversorgung langfristig durch andere Quellen realisiert werden. Die Kernenergie ist dabei keine vernünftige Lösung, da sie nicht nur Entsorgungsprobleme mit sich bringt, sondern durch ihre Nutzung im Unglücksfall ganze Landstriche bedroht. Da die Art der zukünftigen Energieversorgung die Zukunft der Erde maßgeblich beeinflussen wird, führt langfristig kein Weg am Umstieg von unserer jetzigen auf fossilen Reserven beruhenden Energieversorgung auf den Einsatz regenerativer Energien vorbei.

Vor allem die Sonne stellt ein bis heute viel zu wenig genutztes Energiereservoir dar. Die Strahlung der Sonne läßt sich in elektrische Energie umwandeln, wenn man Halbleitermaterialien einsetzt. Halbleiter sind im Gegensatz zu Metallen im Grundzustand Isolatoren. Sie lassen sich, anders als Isolatoren, aufgrund ihrer geringen Bandlücke jedoch leicht anregen, zum Beispiel durch Sonnenlicht. Diese direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie wird als Photovoltaik bezeichnet. Durch die Photovoltaik kann elektrische Energie überall genutzt werden, wo das Sonnenlicht hingelangt.

Technische Bedeutung hat die Photovoltaik erst seit 1954 erlangt, nachdem Chapin, Fuller und Pearson die ersten Solarzellen aus Silizium mit einem Wirkungsgrad von 6% entwickelten [4]. Solarzellen ähnlicher Art wurden inzwischen optimiert, so daß Wirkungsgrade bis zu 24% erreicht wurden. Da Silizium nach Sauerstoff das zweithäufigste Element der Erdkruste ist, ist dieses Element von der Materialverfügbarkeit her geradezu ideal. Auch die Umweltverträglichkeit ist gut, weil es nicht toxisch ist. Die Herstellung der Si-Solarzellen erfordert allerdings große Mengen an hochreinen Silizium, da kristallines Silizium ein indirekter Halbleiter ist und einen geringen Absorptionskoeffizienten hat. Aus diesem Grund ist die Herstellung dieser Solarzellen sehr energieaufwendig, und folglich der Solarstrom im Vergleich mit anderen Energiearten immer noch relativ teuer [5]. Dies ist einer der Hauptgründe, warum Solarenergie bisher nur einen geringen Beitrag zu unserer Energieversorgung leistet.

Eine vielversprechende Alternative zu Solarzellen aus kristallinen Silizium sind Dünnschichtsolarzellen aus Chalkopyriten, deren theoretisch erreichbarer Wirkungsgrad bei etwa 28% liegt [6]. In diesen Solarzellen werden anstelle des indirekten Halbleitermaterials Silizium für die Solarzellen direkte Halbleiter verwendet, von denen das Licht innerhalb weniger μm vollständig absorbiert wird. Dünnschichtsolarzellen benötigen deshalb nur wenige μm dicke Absorberschichten um das Sonnenlicht einzufangen. Da zur Herstellung der Dünnschichtsolarzellen oft relativ einfache Herstellungsverfahren verwendet werden können und der Materialverbrauch wesentlich geringer ist, besteht hier ein bedeutendes Kostenreduktionspotential [7].

Ein der künftigen Verbreitung dieser Dünnschichtsolarzellen eventuell im Wege stehendes Problem ist, daß diese toxische Stoffe enthalten und am Ende ihrer Lebensdauer recycelt oder entsorgt werden müssen. Problematisch ist insbesondere der Cadmiumanteil in den Solarzellen, der zu Akzeptanzproblemen dieser Solarzellen in der Bevölkerung führen könnte und der zur Entstehung großer Mengen cadmiumhaltiger Abfälle bei der Herstellung der Solarzellen führt [8]. Es wäre deshalb von Vorteil, wenn der Einsatz von Cadmium und anderen toxischen Stoffen in den Dünnschichtsolarzellen vermeidbar wäre [9]. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an, indem sie untersucht, inwiefern anstelle von Zwischenschichten aus Cadmiumsulfid der Einsatz von Zinkverbindungen möglich ist.

In der hier vorliegenden Arbeit werden wissenschaftliche Untersuchungen zum Wachstum von nanokristallinem ZnS mit einer anwendungsorientierten Aufgabe, nämlich dem Einsatz dieses Materials in Solarzellen, verknüpft. Nach Einführung in die Experimente zur chemischen Badabscheidung (CBD) werden die analytischen Untersuchungsmethoden kurz vorgestellt. Der Ergebnisteil beginnt mit Beobachtungen, die während der Experimente in der Lösung gemacht wurden. Den Schwerpunkt dieser Arbeit stellt dann die ausführliche Charakterisierung der Schichten dar und die Beschreibung, wie die chemischen Komponenten in der Lösung Einfluß auf das Schichtwachstum nehmen. Die Ergebnisse werden dann unter thermodynamischen und kinetischen Gesichtspunkten erörtert und in der Diskussion Hinweise auf den Reaktionsweg gezeigt. Anhand der hergestellten Solarzellen werden Einsatzmöglichkeiten der Schichten für photovoltaische Zwecke erörtert. Im Anschluss daran werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefaßt. Das folgende Kapitel erläutert Modellvorstellungen zum Wachstum dünner Schichten, präsentiert thermodynamische Berechnungen zur ZnS-Bildung in einer Lösung, und beschreibt den Einsatz dünner Schichten in Solarzellen.