

Mikrobrennstoffzellen Massenproduktion

Im Juni 2007 wurde das vom BMBF geförderte und vom Fraunhofer IZM koordinierte Verbundprojekt zur Entwicklung der Produktionstechnologie von Mikrobrennstoffzellen beendet. Auf der Abschlusspräsentation am 20.6.2007 in Berlin wurden die Ergebnisse des Projekts der Öffentlichkeit präsentiert. Als größter Erfolg konnte die Schaffung einer durchgängigen Produktionskette für PEM-Mikrobrennstoffzellen demonstriert werden, die eine kostengünstige Herstellung im Sekundentakt ermöglicht. Außerdem wurden kompakte Funktionsmuster gezeigt, in denen die Mikrobrennstoffzelle mit selbst regelnden Wasserstofferzeugern kombiniert wird. Dadurch können Komplettsysteme in den Abmessungen weniger Kubikzentimeter realisiert werden, die eine höhere Energiedichte und damit längere Laufzeit gegenüber Primärbatterien ermöglichen.

- Brennstoffzellen Konstruktion

Ausgangspunkt für die Konstruktion war die Vorgabe, dass die Mikrobrennstoffzelle nur aus drei Bauteilen bestehen soll und trotzdem aus mehreren in Serie verschalteten Einzelzellen besteht, die notwendig sind, um gewünschte Betriebsspannungen von z.B. 3.3 V zu erzielen. Außerdem sollte die Brennstoffzelle möglichst dünn und mechanisch stabil sein, um eine einfache Integration in elektronische Geräte und Mikrosysteme zu ermöglichen.

Diese Ziele wurden erreicht, indem ein planares Design entworfen wurde, bei dem mehrere Zellen nebeneinander liegen. Es wird eine einheitliche Ionenleiter-Membran für alle Zellen verwendet, auf der sich einzelne Elektroden für jede Zelle befinden. Eine deutliche Vereinfachung des Aufbaus wird erzielt, indem auf Gasdiffusionsschichten (GDL) verzichtet wird. Dies ist dadurch möglich, dass die Stromableiter eine sehr feine Strukturierung erhalten, durch die einerseits die Feinverteilung der Medien erfolgt und die elektrischen Verluste in den Elektrodenschichten gering gehalten werden. Der Abstand zwischen den einzelnen Zellen wurde so groß gewählt, dass einerseits eine gute Ausnutzung der teuren Polymermembran gewährleistet ist und andererseits Verluste durch ionische Querströme zwischen den Zellen gering bleiben.

Insgesamt mussten bei der Optimierung des Designs Kompromisse eingegangen werden. Mit in der Massenfertigung etablierten Prozessen können Strukturen größer einiger 100 µm hergestellt werden, wodurch ohmsche Verluste in den Elektroden nicht völlig vermieden werden können. Ebenso führt die durchgehende Ionenmembran zu Wirkungsgradeinbußen bei sehr kleinen Strömen.

- Fertigungstechnik

Zur Herstellung der mikrostrukturierten Stromableiter der planaren Mikrobrennstoffzellen wurde die Leiterplattentechnologie verwendet. Auf diese Weise kann auf einen hochproduktiven Fertigungsprozess sowie stabile Verbundwerkstoffe zurückgegriffen werden, die einen dünnen, leichten und stabilen Aufbau ermöglichen. Auf nur 100 µm dicken FR4-Substraten wurden die mikrostrukturierten Stromableiter sowohl mittels Ätztechnik als auch durch galvanische Abscheidung hergestellt. Korrosionsstabile Schichten wurden durch eine galvanische Ni-Au-Oberfläche realisiert. Stromkollektoren mit integrierten Strömungsfeldern auf der Anoden- und Kathodenseite wurden dabei als "35 mm-Endlosband" entwickelt.

Die Strukturierung der Elektroden der Membran-Elektrode-Einheit (MEA) erfolgte subtraktiv mittels Laserablation. Trotz des nur sehr kleinen Prozessfensters können sehr saubere und hochpräzise Strukturen reproduzierbar hergestellt werden. Die Produktivität des Verfahrens ist hoch, da gleichzeitig Vorder- und Rückseite bearbeitet werden. Es wurde ein

serientauglicher Prozess entwickelt, mit dem Isolationsbreiten zwischen 100 und 600 µm erreicht werden.

- Montagetechnologie

Im Rahmen des Projekts wurde die komplette Fertigungstechnik für hochproduktive Rolle-zu-Rolle Herstellung von Mikrobrennstoffzellen entwickelt. Während der Anoden-Stromableiter als Endlosband zugeführt wird, werden MEA und Kathoden-Stromableiter vereinzelt im Carriertape zugeführt. Insbesondere mussten Handlingverfahren für sehr dünne und forminstabile MEA-Folien sowie Klebetechnologien für die gasdichte Abdichtung des Anodenraums und die elektrische Kontaktierung entwickelt werden. Mit Klebstoffen, die eine Aushärtung in ca. 10 Sekunden ermöglichen, wird ein Durchsatz von 1000 bis 2000 Mikrobrennstoffzellen pro Stunde mit einigen Quadratzentimeter Größe erreicht. Die maschinentechnische Umsetzung erfolgte mit angepassten In- und Output-Spulern, Druckern und Dispensern, Bondarmen und Thermoden. Mittels Bildverarbeitung wurde eine Justagegenauigkeit besser 50 µm erzielt.

Somit wurde erstmals eine geschlossene und durchgängige Produktionskette für Mikrobrennstoffzellen realisiert, die eine automatisierte Fertigung in Serie ermöglicht.

- Wasserstofferzeugung und Komplettsystem

Eigentliches Ziel der Entwicklung ist es, ein Gesamtsystem mit gegenüber Batterien deutlich höherer Energiedichte herzustellen. Zu Beginn des Projekts gab es keine Wasserstoffspeicher ausreichender Energiedichte mit Abmessungen von wenigen Kubikzentimetern. Es wurde ein Galvanisches Element in Form einer Knopfzelle mit 25 mm Durchmesser entwickelt, in welchem bei der Reaktion von Zn mit H₂O Wasserstoff erzeugt wird. Dadurch wird eine bedarfsgerechte Wasserstofferzeugung proportional zum fließenden Laststrom ermöglicht und es kann auf Druckspeicher, oder Druckminderer sowie Ventile verzichtet werden. Außerdem wurde ein Adapter entwickelt, der sowohl die Mikrobrennstoffzelle als auch drei Knopfzellen zur Wasserstofferzeugung und eine einfache Startelektronik enthält, mit welchem eine Spannung von 3 V bereitgestellt werden kann. Mit dem Gesamtsystem aus Brennstoffzelle, Adapter und Knopfzellen wird eine gegenüber Alkali-Mangan-Batterien 40% höhere Energiedichte erzielt. In der weiteren Umsetzung soll durch Übergang auf zylindrische Bauformen der Gasentwicklungszellen eine Energiedichte von 900 Wh/l erreicht werden. Dies entspricht ungefähr der dreifachen Energiedichte von Primärbatterien.

- Kostenabschätzung

Kostenanalysen waren ebenfalls Bestandteil des Projekts. Für den hergestellten Demonstrator aus Brennstoffzelle mit einer aktiven MEA-Fläche von ca. 2 cm² und Adapter ergeben sich in der Massenfertigung Kosten von ca. 4,5 € pro Stück. Mehr als die Hälfte der Kosten entfallen dabei auf die Vergoldung der Stromableiter und die Laserstrukturierung der MEA. Die wie Primärbatterien auszutauschenden Wasserstofferzeugerzellen kosten in der Massenproduktion ca. 0,2 €. Damit ist der Weg aufgezeigt, kostengünstig Mikrobrennstoffzellensysteme herzustellen, die eine deutliche Erhöhung der Energiedichte gegenüber Batterien und damit die Laufzeit elektronischer Geräte ermöglicht.

- Ausblick

Bevor es zur Markteinführung der entwickelten Technologie kommt, müssen größere Bauformen der Wasserstoffentwicklungszellen bereitgestellt werden. Damit wird es möglich, neben der Energiedichte auch die Leistungsdichte zu steigern. Für Anwendungen mit variierenden Lastströmen wird außerdem eine verbesserte Steuerelektronik entwickelt.

Weitere Arbeiten beziehen sich auf die Reduzierung des Edelmetalleinsatzes bei Erzielung einer ausreichenden Langzeitstabilität. Mit dem Hintergrund der bereits entwickelten Produktionstechnologie sollte die Einführung in die Massenfertigung dann schnell möglich sein.

- Projektpartner

Amicra Microtechnologies GmbH	Mikromontage
KuZ Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH Würth Elektronik GmbH & Co. KG	Prägen von Mikrostrukturen Fertigungstechnologie der Stromableiter / Flowfields
LaserMicronics	Laserablation zur Strukturierung von MEAs
Mühlbauer ASEM GmbH	Rolle/zu/Rolle Fertigungstechnik von Mikrobrennstoffzellen
Fraunhofer IZM	Prozessentwicklung, Konzeption Brennstoffzelle
Varta Microbattery GmbH	Wasserstofferzeuger und Gesamtdemonstrator

Dieses Verbundprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert.

Abbildungen

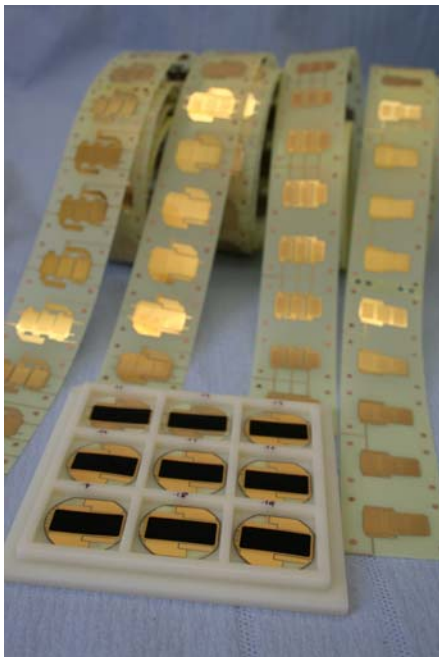


Abb. 1: Rolle-zu Rolle Fertigung von Stromkollektoren



Abb. 2: Strukturierte MEAs ($A = 2 \text{ cm}^2$)

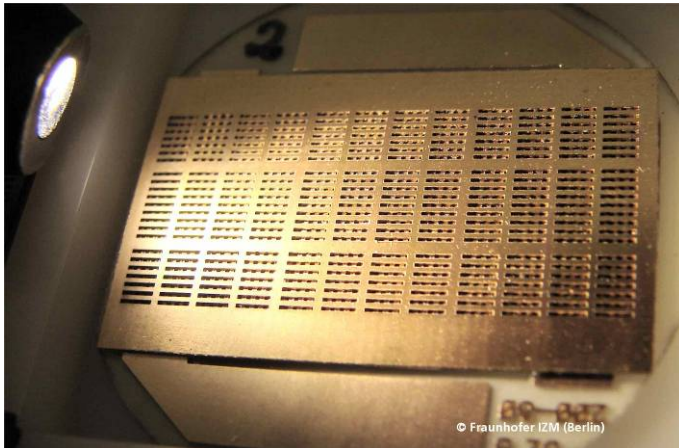


Abb. 3: Fertige Mikrobrennstoffzelle



Abb. 4: Wasserstofferzeugungszelle (Durchmesser 25 mm, Varta Microbattery)

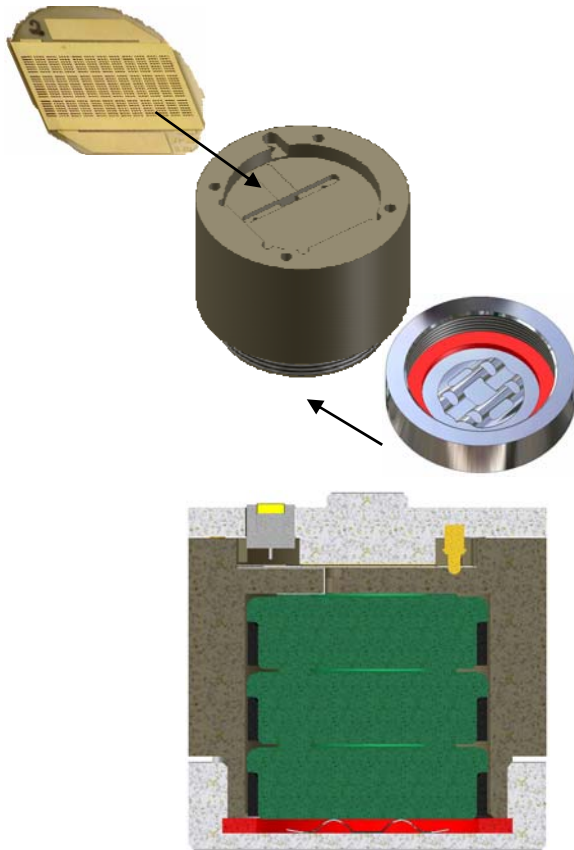


Abb.5: Adapter für Mikrobrennstoffzelle und Wasserstofferzeugungszellen (Quelle: Varta Microbattery)

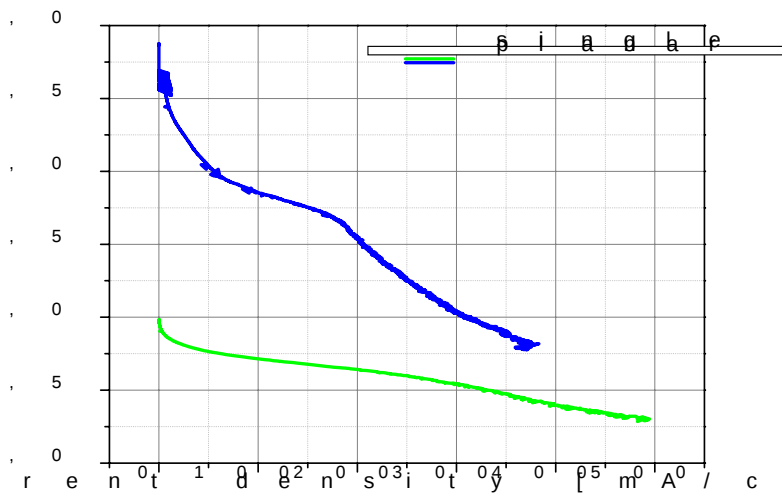


Abb. 6: Strom-Spannungskennlinie Mikrobrennstoffzelle