

Schlussbericht

KMU-innovativ: Nanotechnologie (NanoChance)

Verbundnamen:
Nanoschichten aus Nickelsilizid für Hochleistungssolarzellen
und Waferdurchkontaktierungen

Akronym: NanoNiSi

Teilvorhaben: Nasschemische Metallisierung auf
Nickelsilizidschichten für Solarzellen und
Waferdurchkontaktierungen

Inhalt

1	Übersichtsangaben.....	3
2	Kurze Darstellung	3
2.1	Aufgabenstellung.....	3
2.2	Voraussetzungen.....	3
2.3	Planung und Ablauf	3
2.3.1	Meilenstein und Abbruchkriterien:	5
2.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	5
2.5	Zusammenarbeit mit den Projektpartnern	6
3	Eingehende Darstellung	7
3.1	Erzielte Ergebnisse.....	7
3.2	Erstellung der Gesamtprozessabläufe.....	8
3.2.1	Durchkontaktierung	8
3.2.2	Prozessablauf Solar	10
3.3	Metallisierungsprozesse	10
3.3.1	Auswahl der Elektrolyte	10
3.3.2	Aufbau der Laboranlagen	12
3.4	Emitteranpassung.....	13
3.5	Lochsubstrate	15
3.6	Wichtige Positionen im zahlenmäßigen Nachweis	19
3.7	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	20
3.8	Verwertbarkeit der Ergebnisse	20
3.9	Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	21
3.10	Geplante Veröffentlichung	21
4	Erfolgskontrollbericht	21
4.1	Beitrag des Projektes zu den förderpolitischen Zielen.....	21
4.1	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse.....	22
4.2	Fortschreibung des Verwertungsplanes	22
4.2.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte	22
4.2.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragnehmer	22
4.2.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragnehmer	23
4.2.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte	23
4.3	Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben	23
4.4	Präsentationsmöglichkeiten.....	23
4.5	Einhaltung von Kosten- und Zeitplanung.....	23
5	Referenzen	23

1 **Übersichtsangaben**

Projektleitung	Dr. Lütke Notarp
Zuwendungsempfänger	NB Technologies GmbH
Förderkennzeichen	13 N 13168
Thema	Nanoschichten aus Nickelsilizid für Hochleistungssolarzellen und Waferdurchkontaktierungen
Bewilligungszeitraum	01.08.2014 bis 31.07.2017

2 **Kurze Darstellung**

2.1 Aufgabenstellung

2.2 Voraussetzungen

Für NBT handelte es sich um ein, mit hohen technologischen Risiken behaftetes, vorwettbewerbliches Entwicklungsprojekt, dass nur durch die Fördermittel ermöglicht wurde. Die Zusammenarbeit mit den kompetenten Projektpartnern (Tabelle 3) war von Beginn an erfolversprechend.

2.3 Planung und Ablauf

Im Projektantrag wurde der folgende Balkenplan zum zeitlichen Ablauf des Projektes aufgestellt. Darin wurde auch ein Halbzeitmeilenstein definiert. Der Halbzeitmeilenstein wurde modifiziert auf ein sinnvolles Erreichen des Projektziels.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
AP 0												
Gesamtprozessabläufe												
a) Erstellung Gesamtprozessabläufe	█	█	█	█	█	█	█	█				
Analyse und Bewertung kristische Einzelprozesse												
Festlegung Gesamtprozessabläufe												
AP 1												
Metallisierungsprozesse												
a) Auswahl Elektrolyte	█	█	█	█	█	█	█	█				
b) Aufbau Laboranlagen	█	█	█	█	█	█	█	█				
c) Einzelprozesse chemisch Ni, Cu	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
d) Einzelprozesse galvanisch Ni, Cu, Sn	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
e) Einzelprozess poröses Silizium	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP 2												
Dotierstoffsegregation												
a) Testmusterherstellung (PVD Ni)	█	█	█	█	█	█	█	█				
b) Testmusterherstellung (galvanisch Ni)	█	█	█	█	█	█	█	█				
c) Untersuchung Silizidierungsprozess	█	█	█	█	█	█	█	█				
d) elektrische Charakterisierung des Kontaktes	█	█	█	█	█	█	█	█				
AP 3												
Emitteranpassung												
a) Simulation Emitterparameter	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
b) Testmusterherstellung mit Emittervariationen	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP 4												
Lochsubstrate												
a) Einzelprozessuntersuchungen	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
b) Untersuchung Silizidprozess	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
c) Untersuchung chemische Abscheidung	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
d) Herstellung Testmuster	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP 5												
Funktionsmusterherstellung												
a) Funktionsmuster Solarzellen	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
b) Funktionsmuster Lochsubstrate	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP 6												
Charakterisierung												
a) Abrissverhalten Testmuster	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
b) Alterungsverhalten Funktionsmuster	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
c) Charakterisierung Solarzellen	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
d) Charakterisierung durchkontaktierte Substrate	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Halbzeitmeilenstein (Ende Q4)												
kostenneutrale Projektverlängerung (Ende Q8)												

Tabelle 1 Balkenplan nach Projektverlängerung

2.3.1 Meilenstein und Abbruchkriterien:

Im Projektantrag wurde der folgende Meilensteinplan (Tabelle 2) aufgestellt. Diese Meilensteine konnten im Berichtszeitraum erreicht werden.

Meilenstein	Evaluierungskriterium
MS1	Halbzeitmeilenstein
MS1.AP0	- Gesamtprozessabläufe sind definiert
MS1.AP1	- Elektrolyte sind definiert und erprobt - Laboranlagen für Ni und Cu sind aufgebaut - Einzelprozesse sind für weitere Testmusterherstellung mit Laboranlagen und Fortführung der abhängigen Arbeitspakete einsetzbar
MS1.AP2	- NBT kann Testmuster mit haftenden Nickelschichten für die Untersuchung der Silizidbildung herstellen; als Kriterium für eine ausreichende Haftkraft im Löttest wird ein Wert von 1,0N angesehen
MS1.AP3	- NBT kann Testmuster mit haftenden Nickelschichten für die Untersuchung zur Bewertung der Emittervariationen herstellen
MS1.AP4	- NBT hat Testmuster von Lochsubstraten mit Nickel in den Durchgangslöchern hergestellt - Silizidbildung wurde an ersten Testmustern durchgeführt

Tabelle 2 Halbzeitmeilensteine

2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Heutige industrielle Solarzellen werden überwiegend mit der klassischen Siebdrucktechnik kontaktiert. Diese Technologie unterliegt jedoch einigen technischen Limitierungen wie beispielsweise einer recht hohen Mindestdotierung im Kontaktbereich, so dass viele Hocheffizienzkonzepte damit nicht realisiert werden können. Weiterhin ist die Metallisierung mit Siebdruck nach wie vor der kostenintensivste Prozess aufgrund des hohen Silberverbrauchs.

Bislang hat es keine Technologie der galvanischen Metallisierung von Solarzellen geschafft, sich als Produktionstechnologie langfristig durchzusetzen, da es noch viele ungelöste Probleme gibt, die eine Massenproduktion verhindern.

Ein Aspekt ist dabei die Bildung von Siliziden, um einen guten elektrischen Kontakt beim Übergang des Metalls zum Silizium zu erzeugen. Bei Siebdruckmetallisierungen mit Silber wird eine Silbersilizidschicht erzeugt. Dabei kommt es üblicherweise zur Ausbildung von Silizidspitzen. Eine strenge Kontrolle der Prozesstemperaturen und Prozessparameter ist nicht geeignet, solche Spitzen

vollständig zu verhindern. Diese Spitzen treten auch bei der Bildung von Nickelsilizid auf. Eine Ursache bei der Ausbildung von Siliziden mit unregelmäßiger Tiefe ist die Kristallorientierung, die bei Solarzellen nicht vollständig monokristallin ist. Darum ist das Verständnis der Ausbreitung einer Nickelsilizids über die Zeit und abhängig von der Temperatur fundamental. Eine Schicht porösen Siliziums zeigt fundamental unterschiedliche Eigenschaften gegenüber Bulksilizium auf, so dass die Bildung die Ausbildung eine Silizids mit unterschiedlicher Kinetik erfolgt und eine Kontrolle der Ausbreitung ermöglicht werden kann. Die Ausbildung eines Silizids kann mit in-situ-Analysen mit Transmissions-Mikroskopie untersucht werden [1].

Im Bereich der Durchkontaktierungen beruhen die TSV auf der Füllung von Blindlöchern mit galvanischen Prozessen. Dabei ist eine der Hauptherausforderungen, eine kontinuierliche Startschicht auf den Seitenwänden zu erzeugen und die Blindlöcher hohlraumfrei zu füllen. Dabei ist wenigstens ein Polierschritt notwendig, nämlich zum Öffnen des Via-Bodens. Die Kupferelektrolyte basieren auf einem System, bei dem die Füllung von tiefen Blindlöchern über Ergänzern mit Inhibitoren und Beschleunigern kontrolliert wird.

Die Startschichttechnologie ist heute weitgehend etabliert unter Nutzung von metallorganischen Abscheidungen (MOCVD). Jedoch sind insbesondere auch entsprechende Barrieren zu berücksichtigen. Die Anwendungen von TSV's zielt insbesondere auf die Durchkontaktierung von dünnen Substrate und Konzepten zum Stapeln von Chips. Dennoch sind weiterhin Probleme bei der Haftfestigkeit und Dichtigkeit, z.B. für hermetische gekapselte Systeme zu finden, wo es auf den innigen Kontakt zwischen Startschicht und Untergrund ankommt.

Im Hinblick auf chemische Kupferprozesse zur Auffüllung von Durchgangslöchern kann auf den Stand der Technik auf dem Gebiet der Leiterplattenfertigung aufgebaut werden. Allerdings sind die Lochgeometrien bei der Waferanwendung derzeit noch deutlich anspruchsvoller

2.5 Zusammenarbeit mit den Projektpartnern

Als Projektpartner waren die in Tabelle 3 aufgeführten Institutionen beteiligt. Im Laufe des Projektes wurden die Ergebnisse einzelner Arbeitspakete und die Koordination weiterer Arbeiten auf regelmäßigen Projektreffen besprochen und inhaltlich abgestimmt. Einzelheiten und Material wurde zusätzlich bilateral ausgetauscht. Mit der Hanwha Q.Cells GmbH stand dem Verbund ein Großunternehmen als assoziierter Partner zur Seite, der das Forschungsvorhaben interessiert beobachtet und unterstützt hat.

Nr.	Firma	Straße,Nr.	PLZ Ort
1	NB Technologie GmbH (NBT)	Fahrenheitstraße 1	28359 Bremen
2	RWTH Aachen, IHT Institut für Halbleitertechnik	Sommerfeldstr. 24	52074 Aachen
3	Hanwha Q.Cells GmbH	Sonnenallee 17-21	06766 Bitterfeld-Wolfen

Tabelle 3 Projektpartner

3 Eingehende Darstellung

3.1 Erzielte Ergebnisse

Im Projektantrag wurde der folgende Arbeitsplan aufgestellt (Tabelle 4).

Arbeitspaket 0:	Gesamtprozessabläufe	
	a	Erstellung der Gesamtprozessabläufe
Arbeitspaket 1:	Metallisierungsprozesse	
	a	Auswahl Elektrolyte
	b	Aufbau Laboranlagen
	c	Einzelprozesse chemisch Ni, Cu
	d	Einzelprozesse galvanisch Ni, Cu, Sn
Arbeitspaket 2:	Dotierstoffsegregation	
	a	Testmusterherstellung (PVD Ni)
	b	Testmusterherstellung (galvanisch Ni)
	c	Untersuchung Silizidierungsprozess
	d	elektrische Charakterisierung des Kontaktes
Arbeitspaket 3	Emitteranpassung	
	a	Simulation Emitterparameter
Arbeitspaket 4	Lochsubstrate	
	a	Einzelprozessuntersuchungen
	b	Untersuchung Silizidprozess
	c	Untersuchung chemische Abscheidung
	d	Herstellung Testmuster
Arbeitspaket 5	Funktionsmusterherstellung	
	a	Funktionsmuster Solarzellen
Arbeitspaket 6	Charakterisierung	
	a	Abrissverhalten Testmuster
	b	Alterungsverhalten Funktionsmuster
	c	Charakterisierung Solarzellen
	d	Charakterisierung durchkontaktierte Substrate

Tabelle 4 Arbeitsplan des Projektes

Im Rahmen dieses Arbeitsplanes sind für die Firma NB Technologies GmbH die folgenden Arbeitspakete (Tabelle 5) relevant gewesen:

Arbeitspaket	
0 a	Erstellung der Gesamtprozessabläufe
1 a	Auswahl Elektrolyte
1 b	Aufbau Laboranlagen
1 c	Einzelprozesse chemisch Ni, Cu
1 d	Einzelprozesse galvanisch Ni, Cu, Sn
1 e	Einzelprozess poröses Silizium
2 b	Testmusterherstellung (galvanisch Ni)
3 b	Testmusterherstellung mit Emittervariation
4 a	Einzelprozessuntersuchungen Lochsubstrate
4 b	Untersuchung Silizidprozess
4 c	Untersuchung chemische Abscheidung
4 d	Herstellung Testmuster
5 a	Funktionsmusterherstellung Solarzellen
5 b	Funktionsmusterherstellung Lochsubstrate
6 a	Charakterisierung Abrissverhalten Testmuster
6 b	Alterungsverhalten Testmuster

Tabelle 5 relevanter Arbeitspakete


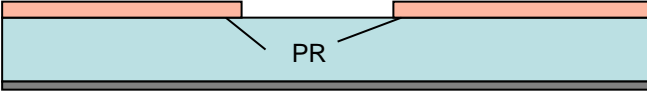






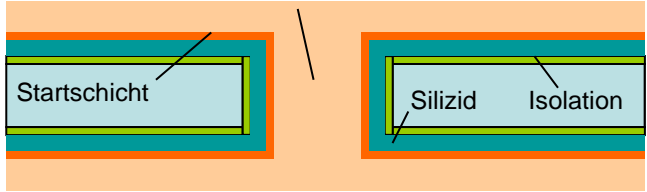
Im Folgenden wird auf die Ergebnisse und den Verlauf der Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete eingegangen.

3.2 Erstellung der Gesamtprozessabläufe

3.2.1 Durchkontaktierung

Für die Durchkontaktierung wurde der folgende Prozessablauf entwickelt:

Als Substrat dienen 300µm dicke doppelseitig polierte 100mm Semistandard Siliziumwafer. Auf die Rückseite wird eine 500nm starke Aluminiumschicht gesputtert, die später als Ätzstoppschicht und zur thermischen Ankopplung an die Heliumkühlung der Tiefätzanlage dient. Zur Maskierung der Vorderseite dient ein 10µm dicker Positivresist (AZ9260). Im folgenden Schritt wird das Silizium mit einem Bosch-Prozess anisotrop trockengetätzt. Der Prozess stoppt auf der gesputterten Aluminiumschicht. Nach der Entfernung des Photoresists und der kompletten Nassätzung des Aluminiums in einer Phosphorsäure-Ätzmischung, wird der Wafer komplett thermisch oxidiert. Dieses Siliziumoxid dient als elektrische Isolation der einzelnen Durchkontakte. Mittels LPCVD (low pressure chemical vapour deposition) wird auf dem Siliziumoxid eine amorphe Siliziumschicht aus der Gasphase abgeschieden. Auf dieser Siliziumschicht wird nach einer Aktivierung mittels eines außenstromlosen Prozess Nickel abgeschieden. Dieses Nickel bildet in einem folgenden Temperschritt mit dem amorphen Silizium ein Nickelsilizid, welches nach der Entfernung des oberflächlichen Nickeloxides mit Salpetersäure als haftfeste Startschicht für eine anschließende Kupferfüllung dient. (Tabelle 6)

1		Substrate mit gesputtertem Metall auf der Rückseite (z.B. Aluminium)
2		strukturiertes Photoresist
3		Trockenätzen des Durchlochs mit Stopp auf dem Metall
4		Metallätzung Abscheiden einer Isolation (thermisches Siliziumoxid)
5		LPCVD Silizium Abscheidung
6		stromlose Nickelabscheidung
7		Bildung eines Nickelsilizides durch Temperung
8		Aktivierung der Oberfläche, stromlose Nickelabscheidung
9		Auffüllen des Vias mit Kupfer


10		CMP Vorder- und Rückseite CMP Vorder- und Rückseite
----	---	--

Tabelle 6 Prozessablauf Durchkontakt

3.2.2 Prozessablauf Solar


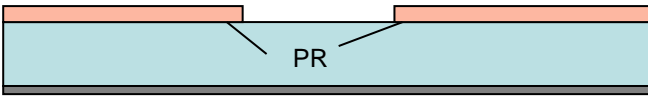
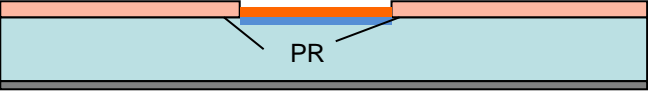


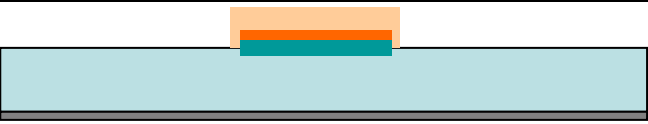
1		Substrate mit gesputtertem Metall auf der Rückseite (z.B. Aluminium)
2		strukturierter Photoresist Nitrid Öffnung
3		Porösifizierung Nickelabscheidung
4		Entfernung des Photoresist Bildung eines Nickelsilizides durch Temperung
5		Aktivierung der Oberfläche, stromlose Nickelabscheidung
6		Galvanische Abscheidung von Kupfer

Tabelle 7 Prozessablauf Solar

3.3 *Metallisierungsprozesse*

3.3.1 Auswahl der Elektrolyte

Es werden zwei Verfahren unterschieden, außenstromlose, chemische Beschichtung und außenstrombehaftete galvanische Beschichtung:

Für die Prozessierung der Solarzellensubstrate kommen die galvanischen Prozesse zum Einsatz. Für die Durchkontaktierungssubstrate wurden chemische Prozesse evaluiert.

Es wurde der stromlose Nickelprozess 601 KB der Firma HSO evaluiert. Bei diesem Prozess handelt es sich um ein außenstromlos abscheidendes, hochstabiles,
 FKZ 13N13168

alkalisches Vernicklungsverfahren, das speziell zur schnellen Abscheidung von gleichmäßigen, gut leitenden Nickelschichten auf geeignet vorbehandelten Nichtleitern entwickelt wurde. Als außenstromlose Kupferelektrolyte sind zur Füllung der Durchgangslöcher Atotech Printoganth MV Copper und Enthone LDS 400 Cu ermittelt worden. Aufgrund der guten Ergebnisse mit dem Enthone LDS 400 Cu wurde im Projekt dieser Elektrolyt zur Kupferabscheidung verwendet. Mehrere weitere Versuche zu Einzelprozessen mit experimentellen chemischen Nickelbädern im Berichtszeitraum haben nicht zu positiven Ergebnissen geführt, so dass diese Ansätze wieder verworfen wurden.

Für die Solarsubstrate kam ein fluoridhaltiger Nickelelektrolyt zum Einsatz, mit dem sowohl ein poröses Silizium als auch eine Nickelschicht aus einer Lösung prozessiert werden kann. Dieser Elektrolyt ist speziell ausgelegt, um in einem ersten Schritt mit anodischer Polung die Oberfläche des Wafers zu porösifizieren und danach durch kathodische Polung in dem porösen Silizium Nickel abzuscheiden.

Elektrolyt	HSO Nickel 601 KB	Enthone LDS 400 Cu	NBT sunNiSi	NB Semiplatte Cu 100
Laboranlage	3l Testzelle	3l Testzelle	3l Testzelle suncup	3l Testzelle suncup
	stromlos	stromlos	galvanisch	galvanisch
Substrat	100mm Durchkontakt	100mm Durchkontakt	100mm Solarwafer	100mm Solarwafer

Tabelle 8 Übersicht Elektrolyte

3.3.2 Aufbau der Laboranlagen

Für die außenstromlose Nickelprozessierung und erste Kupferabscheidungsversuche wurde eine 3l Testzelle mit Einzelwaferhaltern für 100mm Semistandard Wafer (Abb. 3) und 125mm Solarsubstrate konstruiert. Die Einzelwaferhalter sind mit einer Rückseitenkontaktierung ausgestattet. Für die 3l Testzelle gibt es ein LED-Lampenfeld um den PN-Übergang bei Solarwafern durch zu schalten.

Als Laboranlagen für die Metallisierung auf 125mm Solarsubstraten werden zwei suncup® Anlagen (Anlagentyp von NBT) (Abb. 1) aufgebaut. Dabei wird ebenfalls eine Lichtoption und ein Rückseitenkontakt (Abb. 2) integriert um die Substrate im Prozess von der trockenen Rückseite her zu kontaktieren.

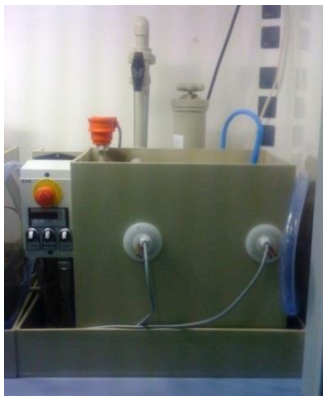


Abb. 1 suncup® mit Licht und Heizung

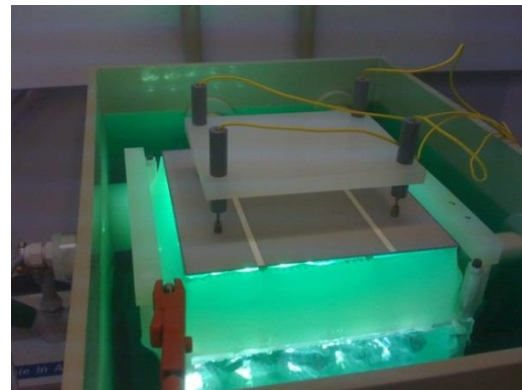


Abb. 2 Solarsubstrat auf suncup® mit Rückseitenkontakt

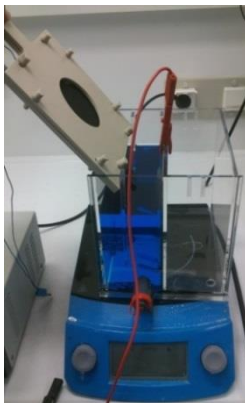


Abb. 3 Testzelle mit 100mm Einzelwaferhalter

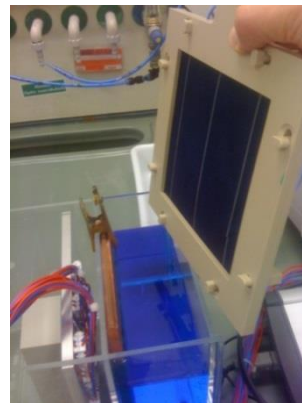


Abb. 4 Testzelle mit Einzelwaferhalter Solar und Lichtintegration

Für die Beschichtung der runden 100mm-Solarsubstrate, die vom Projektpartner IHT in Aachen vorprozessiert worden sind, wurde für die homogenere Abscheidung aus dem fluoridhaltigen Elektrolyten eine Waferrotationseinheit (Abb. 5) für den suncup® aufgebaut.

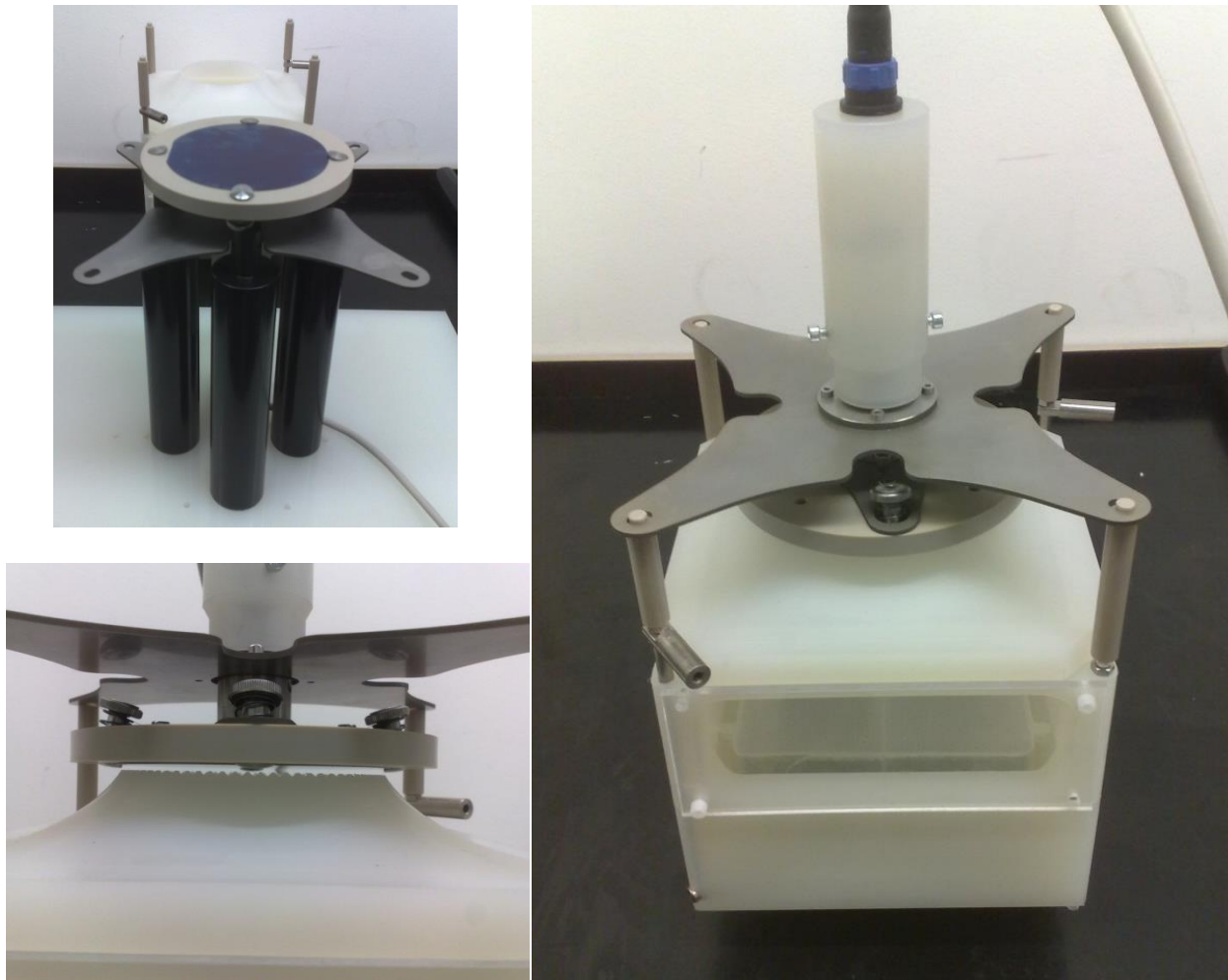


Abb. 5 Waferrotationseinheit

3.4 Emitteranpassung

Während des Berichtszeitraumes wurden mit dem Projektpartner IHT verschiedene Versuche zur Herstellung von Testsubstraten mit unterschiedlichen Emitterkonfigurationen durchgeführt (Tabelle 9).

Wafer	Emitter	Annealing	Nitrid	Backside	Litho	Nitridöffnung	Bemerkung	Datum	Porösifizierung Zeit (s)	Strom (mA)	Spannung (V)	Zeit (s)	Strom (mA)	Nickel Spannung (V)	Licht	Bemerkung	Elektrolyt	
Wafer #01 (02/16)		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF	AZ Resist OK			22.02.16 (GIS)	10	42		180	92		IR 500mA Por + Ni	Busbar braun porös evtl. teilweise nicht benetzt, Resist löst sich nach 40sec. Plating: Finger nicht haftfest Busbar stellenweise nicht haftfest.	sunNiSi 100 Chg. 2602014	
Wafer #02 (02/16)		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF				22.02.16 (GIS)	20 20 20 20	40 40 75 20	1,1 1,3 0,7	120	70	0,9	IR 500mA Por + Ni	keine Porösifizierung erkennbar Ni Abscheidung OK	sunNiSi 100 Chg. 2602014	
Wafer #03 (02/16)		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF		30s 1,5%HF Dip		29.02.16 (IMSAS)	15	45	1,2	90	90	16	IR 500mA Por + Ni	Fehlstelle im Busbar (Emitterdurchbruch?) Ni in den Fingern nicht haftfest.	sunNiSi 100 Chg. 2602014	
Wafer #04 (02/16)		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF														
Wafer #05 (02/16)		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF														
Wafer #06 (02/16)		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF		30s 1,5%HF Dip		29.02.16 (IMSAS)	15	45	1,2	90	90	22	IR 500mA Por + Ni	Porösifizierung nicht erkennbar, Fehlstelle im linken Ni	sunNiSi 100 Chg. 2602014	
Wafer #07 (02/16)		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF		30s 1,5%HF Dip		07.03.16 (IMSAS)	15	45	1,2	90	90	20	IR 500mA Ni		sunNiSi 100 Chg. 2602014	
Wafer #08 (02/16)		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF		60s im Elektrolyten		10.03.16 (IMSAS)	30	45	3-1,2V	180	45	5,9V	Vis 700mA Ni	Porösifizierung ungleichmäßig, Ni Abscheidung gleichmäßig aber nicht haftfest	sunNiSi 100 Chg. 2602014 +10g/l Borssäure + 2ml/l ADS	
Wafer #09 (02/16)		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF		360s im Elektrolyten		10.03.16 (IMSAS)	60 15	10 40	3-0,9V 0,9V	120	45	0,45V	Vis 900mA Ni	zwei Hotspots beim Porösifizieren, kein Porös in den Hotspot	sunNiSi 100 Chg. 2602014 +10g/l Borssäure + 12ml/l ADS	
Wafer #10 (02/16)		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF		360s im Elektrolyten		10.03.16 (IMSAS)	10	90	3-1,2V							
Wafer #11 (02/16)		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF														
Wafer #01 (04/16) 1-90		90° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF	kein resist	120s im Elektrolyten		05.04.16 (IMSAS)		45	3-1,1V				kein	Hotspot	sunNiSi 100 Chg. 2602014 +10g/l Borssäure + 12ml/l ADS	
Wafer #02 (04/16) 1-45		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF	kein resist	120s im Elektrolyten		05.04.16 (IMSAS)	120 240	9	2,2-0,55 0,35-0,29				kein	Hotspot	sunNiSi 100 Chg. 2602014 +10g/l Borssäure + 12ml/l ADS	
Wafer #03 (04/16) 2-45		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF	kein resist	120s im Elektrolyten		05.04.16 (IMSAS)		9	2,5-0,3				Vis 900mA Ni	Hotspot, Ni nur an Rändern der Hotspots	sunNiSi 100 Chg. 2602014 +10g/l Borssäure + 12ml/l ADS	
Wafer #04 (04/16) 2-45		45° eintreiben	einsseitig LPCVD	Al-BSF	kein resist	120s im Elektrolyten		05.04.16 (IMSAS)	480		2,5-0,3	180	45	0,48-0,38	Vis 900mA Ni	Hotspot, Ni nur an Rändern der Hotspots	sunNiSi 100 Chg. 2602014 +10g/l Borssäure + 12ml/l ADS	
Wafer 16/09M01 (22.09.20)	Q-Cells	E15018 T2	Q-Cells	Al-BSF	keine Struktur	14 min HF 10%	Hydrophob	22.09.2016 (IMSAS)	30	250	1,14V				Vis 900mA Ni	Porös	Fläche ca. 50cm² braune Stellen	sunNiSi Chg. 2602014
Wafer 16/09M02 (22.09.20)	Q-Cells	E15018 T2	Q-Cells	Al-BSF	keine Struktur	10 min HF 10%	Hydrophob	22.09.2016 (IMSAS)	90	250	1,0-1,2V				kein	Fläche ca. 50cm² braun, einzelne braune Stellen, zentriert	sunNiSi Chg. 2602014	
Wafer 16/09M03 (22.09.20)	Q-Cells	E15018 T2	Q-Cells	Al-BSF	keine Struktur	10 min HF 10%	Hydrophob	22.09.2016 (IMSAS)	90	400	1,3-1,4V				kein	Fläche ca. 50cm² braun, große braune Bereiche	sunNiSi Chg. 2602014	
Wafer 16/09M04 (22.09.20)	Q-Cells	E15018 T2	Q-Cells	Al-BSF	keine Struktur	10 min HF 10%	Hydrophob	22.09.2016 (IMSAS)	90	500	1,3-1,4V-1,0V	180	300	200mA	20	Vis 900mA Ni	flächige Nickelabscheidung, Tapetest OK bis auf Kontakt	sunNiSi Chg. 2602014
Wafer 16/09M04 (22.09.20)	Q-Cells	E15018 T2	Q-Cells	Al-BSF	keine Struktur	10 min HF 10%	Hydrophob	22.09.2016 (IMSAS)	75	400	1,2-1,3V bei f	180	400	200mA	20	Vis 900mA Ni	flächige Nickelabscheidung, Tapetest nicht haftfest.	sunNiSi Chg. 2602014
Wafer 16/09M04 (22.09.20)	Q-Cells	E15018 T2	Q-Cells	Al-BSF	keine Struktur	10 min HF 10%	Hydrophob	22.09.2016 (IMSAS)	50	400	1,2-1,3V	300	400	180mA	20	Vis 900mA Ni	flächige Nickelabscheidung, Tapetest nicht haftfest	sunNiSi Chg. 2602014
Wafer 16/12M01 (05.12.16)	Q-Cells			Al-BSF	Solar IHT 08/	IHT RIE, 30s HF	Hydrophob	05.12.2016 (IMSAS)	30	40	0,7-0,65 V				kein	homogen braune Porösifizierung in den Busbars, leicht	sunNiSi Chg. 2602014, 50°C	
Wafer 16/12M02 (05.12.16)	Q-Cells			Al-BSF	Solar IHT 08/	IHT RIE, 30s HF	Hydrophob	05.12.2016 (IMSAS)	30	40	0,7-0,65 V	180	40	0,30V	Vis 900mA Ni	homogene haftfeste Nickelabscheidung!!!!!!	sunNiSi Chg. 2602014, 50°C	

Tabelle 9 Versuche auf Solarsubstraten

Das IHT hat unter anderem auf dem Wafer #06 0216 aus Nickel auf porösem Silizium aus dem sunNiSi Prozess, Nickelsilizid gebildet. Auf diesem Silizid wurde dann in der Versuchsreihe im Februar 2017 erneut Nickel und Kupfer abgeschieden. Dieses Kupfer war stellenweise gut haftfest. (Abb. 6)

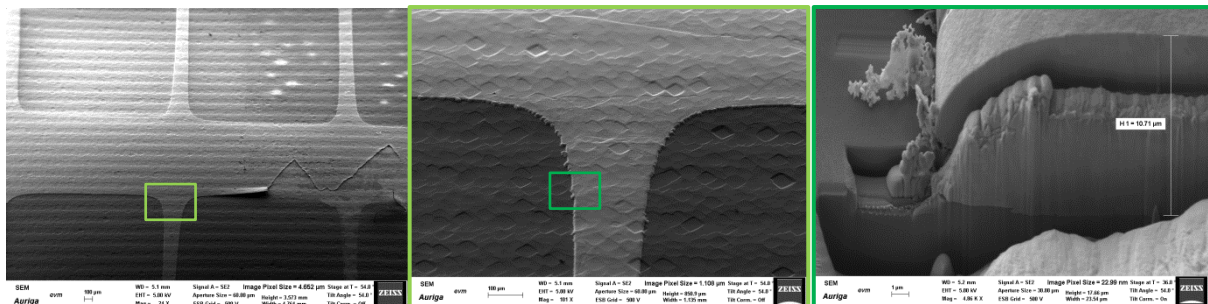


Abb. 6 Kupferleiterbahn auf Nickelsilizid #06 0216

Nach Schwierigkeiten bei der Porösifizierung durch sogenannte HotSpots (resultierend aus einer inhomogenen Emitterdotierungen) auf den anfänglich verwendeten Wafern vom IHT (Abb. 7) wurden zusätzliche Substrate von der Firma Hanwha QCells als assoziiertem Partner eingesetzt. Auf diesen Substraten konnte der sunNiSi Prozess mit guten Ergebnissen, im Tapetest gut haftfester homogener Nickelbeschichtungen, eingesetzt werden (Abb. 8).

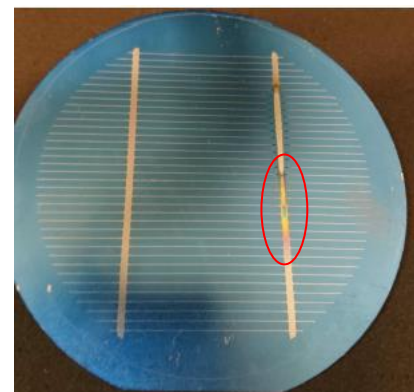
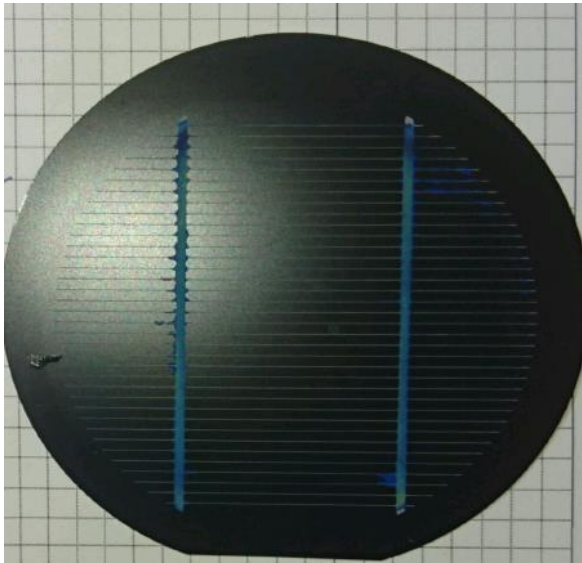


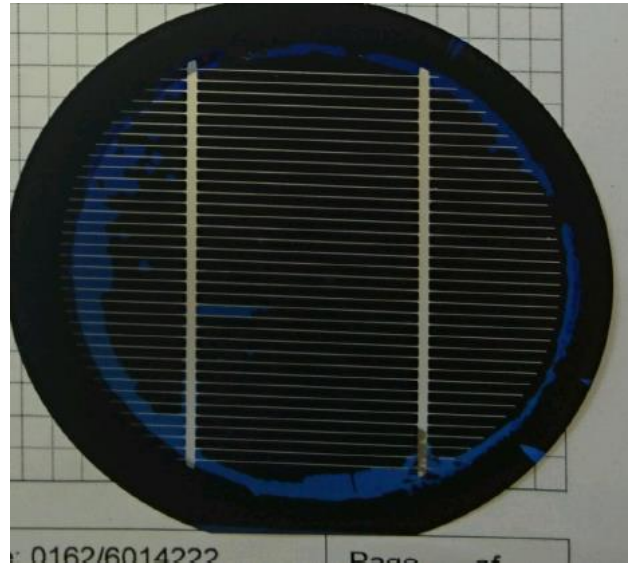
Abb. 7 Wafer 90-01 nach Porösifizierung, poröses Silizium nur um den HotSpot



Wafer 16/12 #1

homogene blaue Porösifizierung in den
Busbars, innerhalb der Finger ist die
Porösifizierung leicht grünlich

Abb. 8 NanoNiSi Prozess auf Q-Cells Substrat



Wafer 16/12 #2

homogene hauffeste Nickelschicht
(vor Lackentfernung; der Lack ist nicht stabil
gewesen, stört nicht den Nickelprozess)

Es wurden dem Projektpartner IHT verschiedene Testmuster für Versuche zur Emitteranpassung zur Verfügung gestellt. Die prinzipielle Machbarkeit der hauffesten Beschichtung mittels Galvanik ist gezeigt worden. Die Wafer wurden durch das IHT vermessen und charakterisiert.

3.5 Lochsubstrate

Für die Durchkontaktierung wurde der Prozessablauf (Tabelle 6) erprobt. Der Schritt des chemisch-mechanischen Polierens (CMP) ist im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt worden.

Zuerst wurden verschiedene Vorversuche zur Nickelabscheidung auf unterschiedlichen Substrattypen durchgeführt (Tabelle 10). Diese Vorversuche haben ergeben, dass die chemische Nickelabscheidung erst zuverlässig startet und hauffeste Schichten erzeugt, wenn die Substrate zuvor mit einer Stain-Etch-Lösung aus Flußsäure und Salpetersäure porösifiziert wurden und die HSO Nickelchemie eine Temperatur von mindestens 50°C hatte.

Substrat	Versuchsdatum	HF-Dip	Vorbehandlung	Porösifizierung	Nickelabscheidung	Resultat
DuKo Wafer (caesar)	07.07.2015		45s HSO Aktivator 20s Beschleuniger 20s Teil B		90s HSO Ni 601 40°C	springt nicht an
DuKo Wafer (caesar)	09.07.2015	20s HF 5%	20s HSO Aktivator 20s Beschleuniger 20s Teil B		30s HSO Ni 601 55°C	Ni-Beschichtung: Vorderseite nicht haftfest, Rückseite OK
DuKo Wafer (caesar)	10.07.2015	20s HF 5%	20s Teil B		60s HSO Ni 601 55°C	springt nicht an
Solarsubstrat	22.07.2015	600s HF 5%	20s HSO Aktivator 20s Beschleuniger 20s Teil B		40s HSO Ni 601 50°C	Ni-Beschichtung: texturierte Vorderseite OK, Rückseite nicht haftfest
Solarsubstrat	22.07.2015	600s HF 5%	20s Actane FL		40s Enplate AL100 50°C	springt nicht an
Solarsubstrat	22.07.2015	600s HF 5%	20s HSO Aktivator 20s Beschleuniger		40s Enplate AL100 50°C	nicht haftende Nickelschicht
DuKo Wafer (caesar)	22.07.2015	600s HF 5%	20s HSO Aktivator 20s Beschleuniger 20s Teil B		40s HSO Ni 601 50°C	Ni-Schicht haftet nicht
Silizium n-Test (IMSAS)	04.09.2015	20s HF 5%	HSO Aktivator		30s HSO Ni 601 50°C	springt nicht an
Silizium n-Test (IMSAS)	04.09.2015	20s HF 5%	20s HSO Aktivator 20s Beschleuniger 20s Teil B		30s HSO Ni 601 50°C	Ni-Schicht haftet nicht
Silizium n-Test (IMSAS)	04.09.2015	20s HF 5%	HSO Aktivator		30s HSO Ni 601 58°C	Ni-Schicht haftfest
DuKo Wafer (caesar)	04.09.2015	20s HF 5%	20s Teil B		30s HSO Ni 601 70°C	haftfestes Ni auf Vorder- und Rückseite Kontakt durch die Löcher
POCL dotiertes Polysilizium (microFAB)	11.09.2015	20s HF 5%			60s HSO Ni 601 50°C	springt nicht an
POCL dotiertes Polysilizium (microFAB)	11.09.2015	20s HF 5%			60s HSO Ni 601 65°C	haftende Nickelschicht
Silizium Testwafer (NXP)	11.09.2015		30s HSO Aktivator 20s Beschleuniger 20s Teil B	30s Stain-Etch (2:6:6 HF:HNO3:H2O)	60s HSO Ni 601 40°C	Stain-Etch ohne optischen Effekt Ni springt nicht an
Silizium Testwafer (NXP)	11.09.2015		20s HSO Aktivator	30s Stain-Etch (2:6:6 HF:HNO3:H2O)	60s HSO Ni 601 50°C	Stain-Etch porösifiziert Ni springt gut an, ist haftfest
Silizium Testwafer (NXP)	14.09.2015	20s HF 5%	HSO Aktivator	30s Stain-Etch (1:6:6 HF:HNO3:H2O)	30s HSO Ni 601 50°C	gut haftende homogene Nickelschicht
DuKo Wafer (caesar)	14.09.2015	20s HF 5%	HSO Aktivator	30s Stain-Etch (1:6:6 HF:HNO3:H2O)	30s HSO Ni 601 50°C	Poly Silizium wird in der Stain-Etch komplett gestrippt. Keine Ni-Beschichtung möglich
DuKo Wafer (caesar)	14.09.2015	5s HF 5%	HSO Aktivator	20s Stain-Etch (1:6:6 HF:HNO3:H2O)	30s HSO Ni 601 50°C	Poly Silizium wird in der Stainetch stark abgedünnt. Keine Ni-Beschichtung möglich

Tabelle 10 Vorversuche Nickelabscheidung

Diese Ergebnisse konnten im Juli 2016 dann bestätigt werden und mit Versuchen zur stromlosen Kupferabscheidung ergänzt werden.

Schritt	Zweck	Chemie	Ansatz
1	Nitridätzung	HF10%	80 ml H ₂ O 20 ml HF (50 %)
2	Porösifizierung	Stain Etch	30 ml H ₂ O 30 ml HNO ₃ (70%) 05 ml HF (50%)
3	Palladium Aktivierung	Aktivator	25 ml HCl (37%) 01 ml Aktivator HD 0,5 ml Aktivator Additiv auf 100ml mit H ₂ O
4	Freilegung der Palladiumkeime	Beschleuniger	100ml Beschleuniger 2K-L
5	Reduktor	Teil B	05 ml HSO 601 Teil B auf 100ml mit H ₂ O
6	Nickelabscheidung	HSO Ni 601	08 ml HSO 601 Teil B 11 ml HSO 601 Teil A auf 100ml mit H ₂ O bei 50°C

Tabelle 11 HSO Nickel 601 Prozess



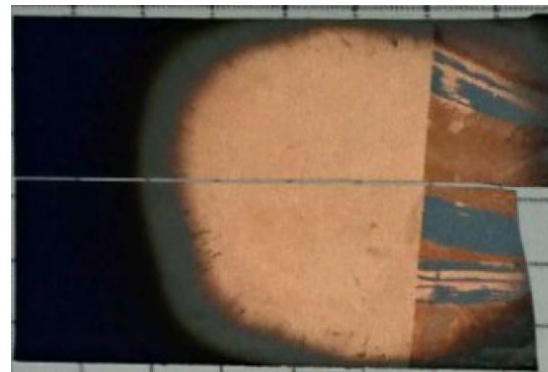
ohne Stain Etch nach Tapetest



mit Stain Etch nach Tapetest

Abb. 10 HSO Nickel 601 mit und ohne Stain Etch

Bei den Versuchen im August 2016 hat sich dann gezeigt, dass nach der Abscheidung von Kupfer aus dem stromlosen LDS Cu 400 Prozess die Haftung des Schichtstapels Nickel-Kupfer im Tape Test nicht gegeben war (Abb. 9). Aus diesem Grund wurde für die folgenden Testmuster mit Durchlöchern aus der Nickelschicht zunächst ein Nickelsilizid bei 350°C gebildet. Danach wurde erneut



Nickel abgeschieden und nachfolgend auch Kupfer aus dem LDS Cu 400 Prozess.

Abb. 9 stromlos Kupfer auf Nickel

Diese Beschichtung war hafftest und Kupfer konnte auch im Rasterelektronenmikroskop in den Durchlöchern nachgewiesen werden (Abb. 11).

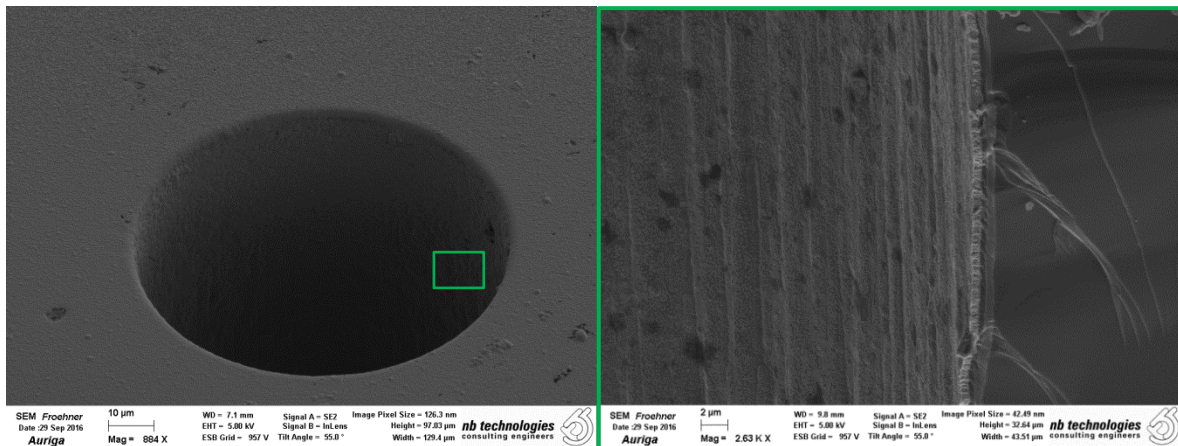


Abb. 11 Kupfer auf Nickelsilizid im Durchloch DuKo #03

Im Laufe der kostenneutralen Projektverlängerung wurde eine weitere Charge Wafer mit Durchlöchern nach dem beschriebenen Prozessablauf (Tabelle 6) zur Reproduktion prozessiert. Dazu wurde eine neue Maske mit optimierten ovalen Strukturen erstellt NanoNiSi_V2 (Abb. 12) und die einzelnen Schritte des Strukturierungsprozesses an das Layout angepasst (Abb. 13). Ziel dieser Versuche war eine komplette Kupferverfüllung.

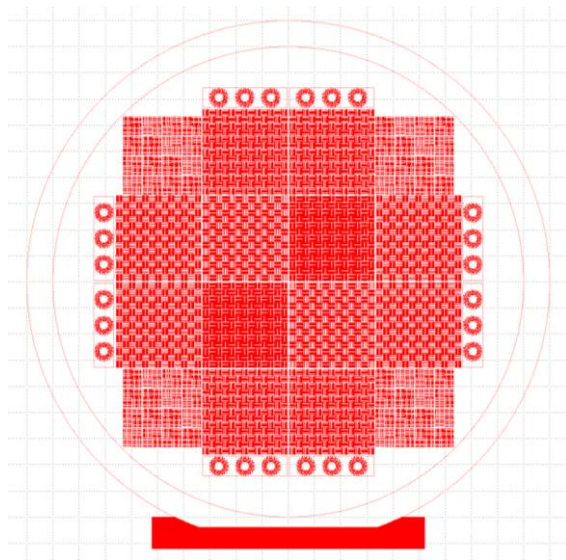


Abb. 12 Maske: NanoNiSi_V2

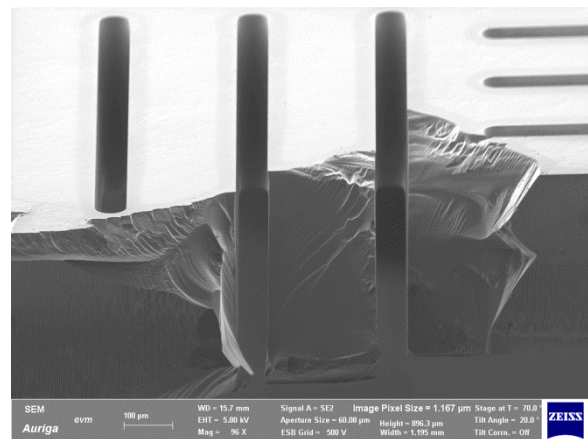


Abb. 13 Tiefätzung NanoNiSi_V2

Nach der Herstellung der durchstrukturierten Wafer wurden diese mit HSO Nickel wie im August 2016 beschichtet (Tabelle 11). Im Anschluss wurde bei 400°C unter Vakuum ein Nickelsilizid gebildet, danach das überschüssige Nickel mittels Salpetersäure entfernt und erneut eine Nickelstartschicht aufgebracht (Abb. 14).

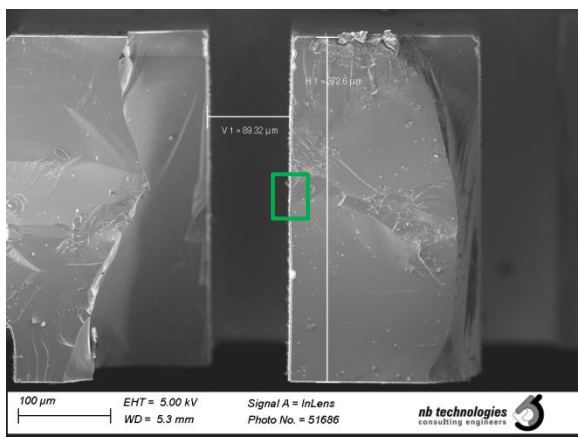
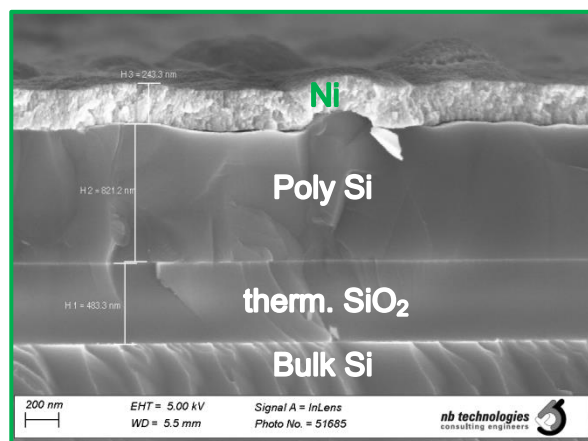


Abb. 14 Nickel nach Silizidbildung im Durchloch



Darauf konnte dann in einer 24 stündigen Kupferabscheidung ca. 50µm Kupfer an der Oberfläche und 25µm Kupfer in den Löchern abgeschieden werden (Tabelle 12). Damit konnten Löcher mit einem Durchmesser von 40µm komplett verfüllt werden (Abb. 15). Es zeigten sich jedoch Prozessprobleme, die Ergebnisse über einen gesamten Wafer zu erzielen, die bis zum Projektende nicht abschließend beseitigt werden konnten.

Schritt	Zweck	Chemie	Ansatz
7	Silizidbildung		Temperung unter Vakuum und Schutzatmosphäre bis 400°C
8	Nickelätzung		10 ml Salpetersäure (68%) auf 100 ml mit H ₂ O
9	Nickelabscheidung	HSO Ni 601	08 ml HSO 601 Teil B 11 ml HSO 601 Teil A auf 100ml mit H ₂ O bei 45°C
10	Cu Abscheidung	LDS Cu 400	24 h bei 45°C

Tabelle 12 Prozessschritte Kupferverfüllung

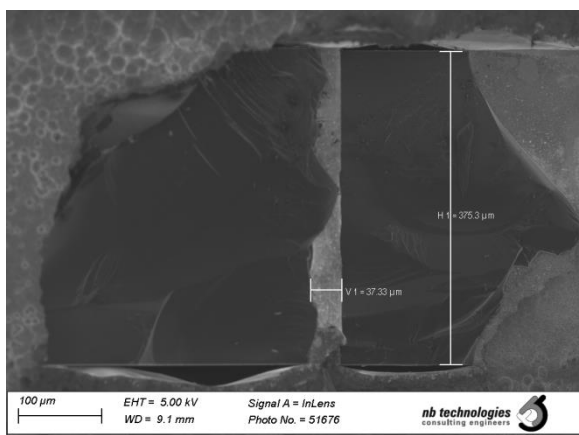
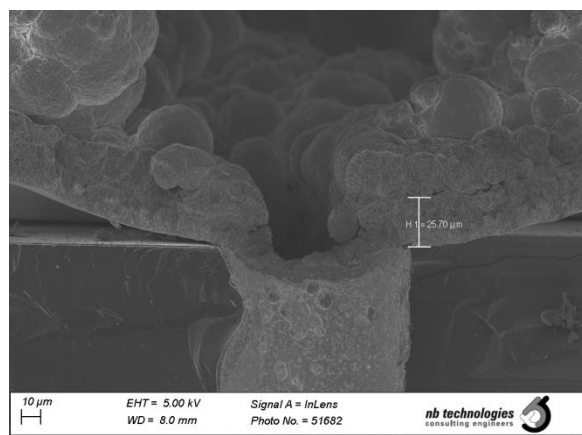


Abb. 15 Durchkontakt mit Kupfer gefüllt



3.6 Wichtige Positionen im zahlenmäßigen Nachweis

Die Kosten bzw. Ausgaben entfielen zum größten Teil (96,2%) auf die Position 0837 Personalkosten, 1,9% der Ausgaben wurden für Material benötigt, 1,3% für Reisen und 0,6% für sonstige unmittelbare Vorhabenkosten.

Die Nachkalkulation hat ergeben, dass die Gesamtvorkalkulation nur um 0,14% überschritten wurde. Eine geplante Schutzrechtsanmeldung ist nicht erfolgt, sodass die dafür gesperrten Mittel nicht abgerufen worden sind.

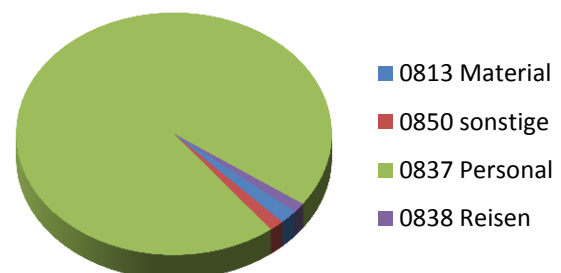


Abbildung 1:
Positionen im zahlenmäßigen Nachweis

3.7 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Alle durchgeführten Versuche und geleisteten Arbeiten sind im finanziellen Rahmen des Projektantrages geblieben.

Auf dem Gebiet der Solarzellen wurde das gesteckte Ziel mit der Evaluierung einer Prozesskette für die galvanische Beschichtung mit Nickel zur Ladungsträgersegregation erreicht. Die prinzipielle Machbarkeit wurde im Labormaßstab auf vollständigen Solarzellen gezeigt. Dabei wurden auch Substrattypen des assoziierten Partners einbezogen.

Im Bereich der Lochsubstrate wurden die Ziele teilweise erreicht. Die prinzipielle Machbarkeit der Lochfüllung wurde anhand von Waferstücken gezeigt. Der Meilenstein zur Projektmitte war erreicht. Allerdings ist es nicht gelungen, eine stabile Prozesskette für vollständige Wafersubstrate zu etablieren. Es gab technische Probleme bei den stromlosen Metallisierungsprozessen, so dass lediglich Waferstücke erfolgreich bearbeitet werden konnten. Daher wurde die Projektlaufzeit kostenneutral verlängert, um die Prozesskette mit erhöhtem Personaleinsatz gründlicher zu untersuchen. Das Ziel, Demonstratorsubstrate mit gefüllten Löchern herzustellen, musste nach Ende der Projektlaufzeit auf eigene Kosten weiterverfolgt werden.

In diesem Sinne waren alle Arbeiten innerhalb der Projektlaufzeit angemessen und notwendig.

3.8 Verwertbarkeit der Ergebnisse

NBT hat wertvolle Ergebnisse im Zusammenhang mit der Abscheidung von Nickel direkt auf Silizium und der Bildung eines Nickelsilizides auf Halbleitersubstraten gewonnen.

Im Zusammenhang mit der Kontaktierung von Halbleiterstrukturen hat NBT die Methoden für weitergehende Anwendungen erarbeitet. Eine Verwertung in konkreten Anwendungen ist derzeit nicht absehbar, jedoch ist NBT in der Lage, Anfragen aus Forschung und Entwicklung in Kundenprojekten zu bedienen und Technologiedienstleistung anzubieten. NBT hofft und arbeitet daran, als Dienstleister in weiteren Arbeiten wahrgenommen zu werden. Für die Beschichtung von Halbleitersubstraten evaluiert NBT, ein weiteres Produkt eines Beschichtungsbades für die Porösifizierung und Nickelabscheidung zu vermarkten.

Ein weiterer Aspekt ist die Verknüpfung des Know-how und des geplanten Produktes mit einem weiteren Geschäftsfeld, nämlich dem Anlagenbau bei NBT. Durch die Verknüpfung von Prozess-Know-How, Galvanikbad und Anlagentechnik ist es NBT möglich, das Portfolio zu erweitern und ein Gesamtpaket für Kunden anzubieten. Der im Projekt eingesetzte Rotationshalter bietet zudem eine sinnvolle Erweiterung des Spektrums für Laboranlagen. NBT plant zudem einen Anlagentyp, der es ermöglicht, die gefährlichen flusssäurehaltigen Medien für die Nickelbeschichtung und Silizidierung sicher handzuhaben. Die Ergebnisse sind dabei ein Baustein der Aktivitäten bei NBT, um Gesamtlösungen für Kunden zu bieten.

Auf dem Gebiet der Lochsubstrate war es leider nicht möglich, einen Demonstratorprozess für vollständige Wafer mit gefüllten Löchern zu etablieren. Es wurden lediglich Teilerfolge auf Waferstücken erzielt. NBT verfolgt weitere Arbeiten zur Prozesstechnologie auch nach Projektende weiter und setzt hierzu auf die

Akquirierung von Projektpartnern oder interessierten Kunden. Dabei ist NBT bewusst, dass der Kreis von interessierten Parteien eher gering ist.

Die Ergebnisse sind jedoch verwertbar für andere Gebiete der Geschäftstätigkeit. NBT konnte das Know-How der chemischen Abscheidung mit Nickel und Kupfer erweitern. In der Tat liegen vermehrt Anfragen von Kundenseite für Bemusterung oder Projektaufgaben vor, so dass NBT nun ebenfalls Dienstleistungen im Bereich von chemischen Abscheidungen anbieten kann oder als Partner in Forschungsprojekten vermehrt wahrgenommen wird.

3.9 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Es wurde Kontakt zum CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH in Erfurt aufgenommen. Das CiS verfügt über Laboranlagen zur elektrochemischen Prozessierung von Substraten und ist mit Projekten zur metallischen Kontaktierung von Siliziumsubstraten beschäftigt. Auch in diesen Projekten geht es um die Herstellung von Nickelsiliziden. Aufgrund der Nähe der Anwendungsfälle hat NBT Musterprozesse mit dem CiS sowohl auf Substraten des CiS, als auch auf Substraten von NBT durchgeführt. NBT sieht durch die Anwendungen am CiS erste Ansatzpunkte für eine Verwertung der Ergebnisse und strebt an, die Zusammenarbeit fortzuführen.

Die Zusammenarbeit hinsichtlich von Versuchen und Musterprozessierungen fand während des Projektes ohne finanzielle Verpflichtungen und ohne Transfer von Rechten statt, und stand nicht mit den Belangen des Vorhabens im Konflikt.

3.10 Geplante Veröffentlichung

Außerhalb dieses Abschlussberichtes wurden die Ergebnisse des Teilprojektes nicht publiziert. Eine über den Abschlussbericht hinausgehende Publikation ist zurzeit nicht geplant. Der Abschlussbericht soll über die Technische Informationsbibliothek (TIB) Hannover veröffentlicht werden.

4 Erfolgskontrollbericht

4.1 Beitrag des Projektes zu den förderpolitischen Zielen

NBT ist mit 10 Mitarbeitern ein KMU im Sinne der Definition der Europäischen Kommission. Für NBT handelte es sich um ein risikobehaftetes vorwettbewerbliches Forschungsprojekt, das aufgrund der Schichtdickendimension eindeutig in den Bereich der Nanotechnologie einzuordnen ist. Somit entspricht dies Projekt explizit dem Gegenstand der Förderung nach der Förderbekanntmachung „Förderrichtlinie zum Programm "KMU-innovativ: Nanotechnologie (NanoChance)". Im Einzelnen sind die Beiträge auf dem Gebiet der Halbleiterkontaktierung und Leitfähigkeitsbeeinflussung von Schichten mit Dicken im Mikrometerbereich durch nanoskalige Effekte zu sehen.

4.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Es ist ein Prozess für die galvanische Herstellung, von Nickelschichten die für die Realisierung von nanoskaligen Nickelsilizidschichten einsetzbar sind, für die Kontaktierung von Siliziumsolarzellen und Halbleitersubstraten erfolgreich eingesetzt worden. Es konnten Mustersubstrate für die weitere elektrische Untersuchung durch die Partner hergestellt werden. Dabei wurden auch Substrate des assoziierten Partners erfolgreich bearbeitet. Hierfür wurde ein Elektrolytbad modifiziert, aus dem sowohl die Porösifizierung von Silizium als auch die Beschichtung mit Nickel aus einem Bad erfolgt. Weiterhin wurden Anlagenteile aufgebaut, die die Abscheidung unter Licht aus diesem Bad erlauben und ein neuartiger Waferhalter zur Abscheidung unter Rotation eingesetzt, um die Dickenuniformität für dünne Schichten zu verbessern.

Es wurden verschiedene Prozessabläufe für die Füllung von Durchgangslöchern in Siliziumsubstraten mittels chemischer Metallabscheidung, wobei Nickelsilizid als Startschicht diente, untersucht. Dabei konnten haftfeste Beschichtungen von Kupfer in den Durchgangslöchern erzielt werden, jedoch ist es nicht gelungen, vollständige Wafer mit vollständig, hohlraumfreien Füllungen als Demonstratoren herzustellen. Hierfür sind noch weitere Schritte nötig.

4.2 Fortschreibung des Verwertungsplanes

4.2.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Es sind keine neuen Erfindungen entstanden oder Schutzrechtsanmeldungen erfolgt.

4.2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragnehmer

- NBT plant eine Produktvariante für die Porösifizierung und Nickelbeschichtung aus einem Bad innerhalb von 12 Monaten nach Projektende zu vermarkten. Hierfür sind noch weitere Untersuchung zu Produkteigenschaften und Prozessführung notwendig. Im ersten Jahr nach Markteintritt ist das Ziel, einen ersten Kunden mit einem Umsatz von 5.000 Euro zu gewinnen. Eine Steigerung ist abhängig von der Marktdynamik und Anwendungen außerhalb des Solarbereiches.
- NBT plant das Anlagen- und Zubehörportfolio für die Verwendung von gefährlichen Medien wie das neue Badprodukt anzubieten. Durch die Kombination von Medium, Anlage und Prozessentwicklung verspricht NBT sich bessere Chancen auf Kundenwahrnehmung und direkt oder indirekte Neukundengewinnung. Der eingesetzte Rotationshalter kann gut mit dem Anlagenportfolio kombiniert werden und soll vermarktet werden. Der Umsatz mit Laboranlagen soll innerhalb der ersten zwei Jahre nach Projektende 50.000Euro erreichen. Der Bedarf für eine Anlage zur Markteinführung für Produktionsaufgaben kann frühestens im Jahr der Markteinführung realistisch bewertet werden. Daneben rechnet NBT mit direkten oder indirekten Effekten im Bereich von Service- und Dienstleistungen. Pro Laboranlage rechnet NBT mit einem Umsatz von Service oder Zusatzgeschäft von 5.000Euro.

4.2.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragnehmer

Die Möglichkeiten der Porösifizierung von Silizium und Nickelabscheidung aus einem Bad ist aus wissenschaftlicher Sicht bei Forschungsinstituten von Interesse. NBT rechnet mit Anfragen von wissenschaftlichen Instituten und Forschungseinrichtung. Eine Zusammenarbeit mit dem CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH wurde während der Projektlaufzeit begonnen. NBT rechnet mit weiteren Anknüpfungen nach Projektende.

4.2.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte

Aus wissenschaftlicher Sicht ist mit dem Verfahren der Nickelsilizidschicht als Saatschicht für Galvanikprozesse ein Grundstein gelegt für Anwendungen zur direkten Beschichtung von Halbleitersubstraten wie zum Beispiel Solarzellen. In weiteren Forschungsvorhaben kann die galvanische Beschichtung von Solarzellen mit Endbeschichtungen weiter untersucht werden. Bei anderen Halbleitersubstraten sind mit mittels der Dotierstoffsegregation ebenfalls neue Beschichtungskombinationen oder Prozesse zur Kontaktierung denkbar, die in Forschungsvorhaben untersucht werden können.

4.3 Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

Bei den Arbeiten zu den Lochsubstraten konnte die Prozesskette mit Silizidierung nach Fertigstellung der Füllung nicht realisiert werden. Dies wäre allerdings ein wichtiger Vorteil für diese Anwendung gewesen. Erst im späten Projektverlauf wurde diese Richtung aufgegeben und es wurde auf die Prozesskette mit zwischenzeitlicher Silizidierung umgeschwenkt. Diese Arbeiten konnten nicht innerhalb der Projektlaufzeit nicht bis zum Demonstrator beendet werden

4.4 Präsentationsmöglichkeiten

NBT plant, Anlagenkonzepte, Prototypen und Engineering-Dienstleistungen auf geeigneten Messen im Rahmen der Portfoliodarstellung zu bewerben. Die Ergebnisse fließen in Prospektmaterial und Webseitenauftritt ein. Konkrete Planungen zu Messe oder Kongressteilnahmen liegen derzeit allerdings noch nicht vor.

4.5 Einhaltung von Kosten- und Zeitplanung

Die Einhaltung des Kostenplanes wird an dieser Stelle nur kurz bestätigt und kann im Einzelnen dem zahlenmäßigen Nachweis entnommen werden. Aufgrund der technologischen Probleme im Projektverlauf wurde eine kostenneutrale Projektverlängerung von 6 Monaten beantragt, genehmigt und durchgeführt.

5 Referenzen

[1] S. Irsen, D. Lütke Notarp, H. H. Kuehnlein, H. Verbunt, „Accelerated Ageing Tests of Solar Cells, G.I.T. Imaging & Microscopy 4/2008