

## Green-ICT-Hub für Ressourcen-optimierte Elektronik-Produktion

# Substitution von N-Methyl-2-pyrrolidon für Halbleitertechnologien

Dr. Kirstin Bornhorst, Falah Qasem Ali Al-Falahi, Dr. Christian Drabe, Dr. Zhiqiu Lu, Maria Esperanza Navarro Fuentes, Maximilian Wagner

### 1 Motivation

N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP) ist in der Halbleiterindustrie ein häufig verwendetes Lösungsmittel. Dieser chemische Stoff ermöglicht die präzise Strukturierung von dünnen Schichten (Lift-off-Prozess) und die Reinigung von Oberflächen (Lackablösen), was besonders wichtig ist, um die Qualität und Leistung von Halbleiterbauelementen zu gewährleisten. Seit 2020 ist die Verwendung von NMP gemäß XVII der REACH-Verordnung eingeschränkt. NMP ist als reproduktionstoxisch eingestuft und kann das Kind im Mutterleib schädigen. Aus diesem Grund ist das Interesse sehr groß das Material zu substituieren.

### 2 NMP-Alternativen

Am Fraunhofer IPMS hat sich NMP zum Entfernen von Fotolacken als Lösungsmittel für zwei Technologien bewährt.

Das NMP-Ersatzprodukt sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- Entfernung von positiven und negativen Lacken
- Geringe Gefährdungseinstufung
- Für Halbleiteranwendung geeignet
- Keine Anätzung der zu reinigenden Schichten (Si, Poly-Si, SiO<sub>2</sub>, Al, AlSiCu, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)
- Produkt rückstandslos entfernbar
- Folgereinigung mit IPA und/oder DI-H<sub>2</sub>O möglich.
- Einsatztemp.: RT - 65 °C
- Hoher Flammpkt. >60 °C; Hoher Siedepkt. >90 °C, Schmelzpkt. <10 °C
- Geeignet für den Einsatz in der manuellen Nassbank
- Materialkompatibilität (Edelstahl, PE-EL PFA, FFKM)
- Geeignet für Ultraschallanwendungen

Nach umfangreicher Recherche erfüllen nur wenige Materialien die oben genannten Anforderungen:

Produkt	Hauptinhaltsstoffe	Prozesstemp. [°C]	Fp. [°C]	Smp. [°C]	Sdp. [°C]
NMP	N-Methyl-pyrrolidon	22, 40	86	-24	203
Produkt A	Wässrige Mischung mit Ethern u. Alkoholen	50	77	-16	97
Produkt B	Dimethyladipat	50	100	-20	196-225
Produkt C	Dimethylsulfoxid, Diglyolamin (<10 %)	50	94	<10	189

### 3 Übersicht der Technologien & Ergebnisse

#### NMP-Technologien am IPMS

	Lackablösen	Lift-off
<b>Fotolacktyp</b>	▪ Positiv	▪ Negativ
<b>Fotolack</b>	▪ AR-PC5000/3.1 ▪ (SPR 700-1.8 -> CMR-Stoff seit 2023)	▪ nLof AZ2070 ▪ AR-N2220
<b>Schichtdicke</b>	▪ 34 (17) µm	▪ 7.5 µm
<b>Prozesstemperatur (NMP)</b>	▪ 22 °C	▪ 40 °C
<b>Wafermaterial</b>	▪ Si, USG, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , AlSiTi	▪ Ta, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Prozessanforderungen</b>	▪ keine Bewegung, Ultraschall oder Schleuderprozess	▪ Ultraschallunterstützung möglich
<b>Prozess</b>	▪ NMP ▪ IPA + IPA ▪ DI-H <sub>2</sub> O high-flow spülen ▪ Trocken im N <sub>2</sub> -Fluss	▪ NMP ▪ IPA ▪ DI-H <sub>2</sub> O Quick-Dump-Prozess ▪ Schleuderprozess
<b>Anforderungen</b>	Kein(e): ▪ Lackrückstände ▪ Beschädigung der Strukturen ▪ Beeinflussung der Spiegelreflexion ▪ Verkleben ▪ Einfluss auf bewegliche Strukturen	▪ Geöffnete Strukturen  Keine: ▪ Lackrückstände ▪ Geöffnete Strukturen ▪ Keine Beschädigung der Strukturen

#### Prozessbeschreibung & mögliche Fehler

**A** ▪ Ganzflächige Abscheidung von Ta/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
▪ Teilweise Beschichtung der Opferschicht-Seitenflächen

**B** ▪ Nasschemischer Angriff der Opferschicht  
▪ Angriff wird durch die Schicht an den Seitenwänden behindert

**C** Strukturierter Wafer ①

**D** Mögliche Fehlerbilder:  
① Schicht wird nur einseitig abgelöst  
② Schicht wird gar nicht abgelöst  
③ Wiederabscheidung  
④ Reste der Seitenwände bleiben stehen

#### Lift-off von Produkt C mit AZ2070

**NMP**  
1. Liften + 1. Nachliften  
Geschlossene Kanäle: 0

**Produkt C**  
1. Liften 90° Drehung 1. Nachliften  
131  
6

#### Defektdichte beim Lackablösen von Produkt B mit Resist SPR700-1.8

Remover	Substrat	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	USG	Si
NMP		3547	231	569
Produkt B	nach Parameteranpassung (Lackdicke, Prozesszeit und -temperatur)	~3500	276	488

#### Übersicht der Ergebnisse

Prozess	Lackablösen				Lift-off			
	Defekte		Rauigkeit & Reflexion		Geöffnete Strukturen		Lackrückstände	
Resist	AR-PC5000	SPR 700-1.8	AR-PC5000	SPR 700-1.8	AZ2070	AR-N2220	AZ2070	AR-N2220
NMP	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
Produkt A	-	☺	-	☺	☺	-	☺	-
Produkt B	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
Produkt C	...	-	...	-	☺	...	☺☺	...

### 4 Ausblick

Für eine endgültige Umstellung beider Prozesse auf ein anderes Produkt ist es notwendig, weitere NMP-Alternativen bzw. das Produkt C für das Lackablösen zu testen und/oder die Technologieabläufe noch weiter anzupassen.

#### Kontakt

Dr. Kirstin Bornhorst  
Tel. +49 3518823-177  
kirstin.bornhorst@ipms.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS  
Maria-Reiche-Straße 2  
01109 Dresden  
www.ipms.fraunhofer.de

GEFÖRDERT VOM