

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, SiO₂, Al, AlSiCu, Al₂O₃, Ta, Ta₂O₅)
- Produkt rückstandslos entfernbar
- Folgereinigung mit IPA und/oder DI-H₂O 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
Fotolacktyp	Positiv	Negativ
Fotolack	AR-PC5000/3.1 (SPR 700-1.8 -> CMR-Stoff seit 2023)	nLof AZ2070 AR-N2220
Schichtdicke	34 (17) µm	7.5 µm
Prozesstemperatur (NMP)	22 °C	40 °C
Wafermaterial	Si, USG, Al ₂ O ₃ , AlSiTi	Ta, Ta ₂ O ₅
Prozessanforderungen	keine Bewegung, Ultraschall oder Schleuderprozess	Ultraschallunterstützung möglich
Prozess	NMP IPA + IPA DI-H ₂ O high-flow spülen Trocknen im N ₂ -Fluss	NMP IPA DI-H ₂ O Quick-Dump-Prozess Schleuderprozess
Anforderungen	Kein(e): Lackrückstände Beschädigung der Strukturen Beeinflussung der Spiegelreflexion Verkleben Einfluss auf bewegliche Strukturen	Keine: Lackrückstände Geöffnete Strukturen Keine Beschädigung der Strukturen

Prozessbeschreibung & mögliche Fehler

A Ganzflächige Abscheidung von Ta/Ta₂O₅
Teilweise Beschichtung der Opferschicht-Seitenflächen

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

C Strukturierter Wafer
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 ₂ O ₃	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