Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

AR-P 6200 E-Beam Resists höchster Auflösung

Kontrastreiche E-Beamresists für die Herstellung integrierter Schaltkreise und Masken

Charakterisierung

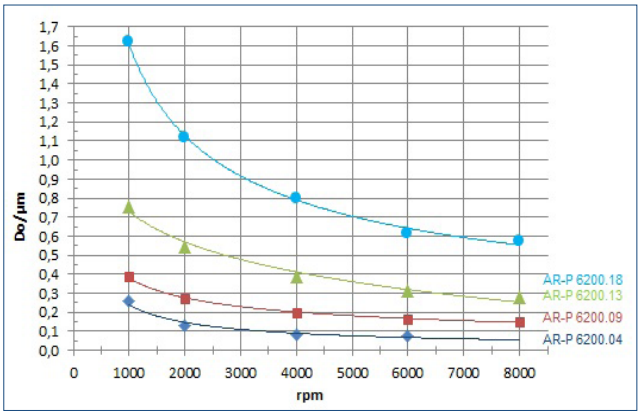
- E-Beam; Schichtdicken 0,05-1,6 µm (6000-1000 rpm)
- hohe, über Entwickler einstellbare Empfindlichkeit
- höchstauflösend (< 10 nm) und sehr hoher Kontrast
- sehr prozessstabil, sehr plasmaätzresistent
- leichte Erzeugung von Lift-off-Strukturen
- Poly(α-methylstyren-co-α–chloracrylsäure-methylester)
- Safer Solvent Anisol

Eigenschaften I

Parameter / AR-P 6200	.18	.13	.09	.04
Feststoffgehalt (%)	18	13	9	4
Viskosität 25 °C (mPas)	29	11	6	2
Schichtdicke/4000 rpm (µm)	0,80	0,40	0,20	0,08
Auflösung bester Wert (nm)	6			
Kontrast	14			
Flammpunkt (°C)	44			
Lagertemperatur (°C) *	10-18			

* Die Produkte sind 6 Monate ab Verkaufsdatum bei vorschriftsmäßiger Lagerung garantiert haltbar und darüber hinaus ohne Gewähr bis Etikettendatum verwendbar.

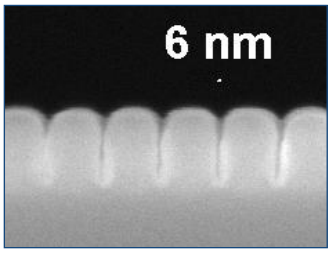
Spinkurve



Eigenschaften II

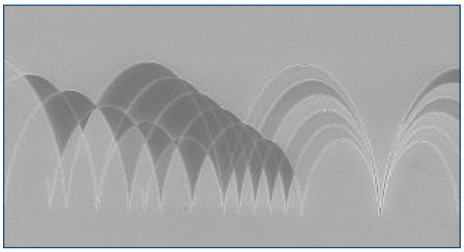
Glas-Temperatur (°C)	128	
Dielektrizitätskonstante	2,8	
Cauchy-Koeffizienten	N_0	1,543
	N_1	71,4
	N_2	0
Plasmaätzraten (nm/min) (5 Pa, 240-250 V Bias)	Ar-Sputtern	10
	O_2	180
	CF_4	45
	80 CF_4 + 16 O_2	99

Strukturauflösung



AR-P 6200.04
Auflösung bis zu 6 nm bei einer Schichtdicke von 80 nm

Resiststrukturen



AR-P 6200.09
25-nm-Strukturen, Schichtdicke 180 nm, Artwork

Prozessparameter

Substrat	Si 4" Wafer
Temperung	150 °C, 60 s, Hotplate
Belichtung	Raith Pioneer, 30 kV
Entwicklung	AR 600-546, 60 s, 22 °C

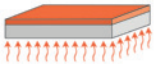
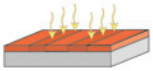
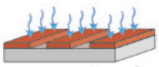
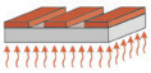
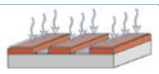
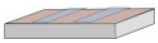
Prozesschemikalien

Haftvermittler	AR 300-80 neu
Entwickler	AR 600-546, 600-549
Verdünner	AR 600-02
Stopper	AR 600-60
Remover	AR 600-71, 300-76

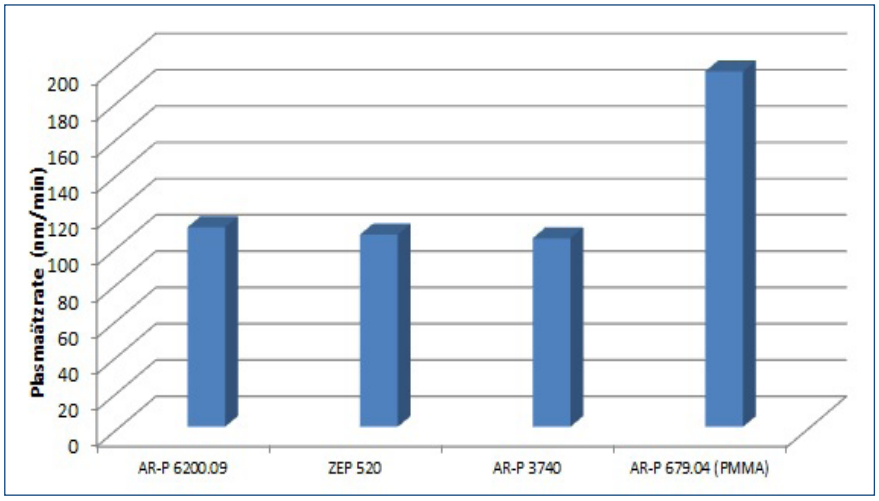
Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

Prozessbedingungen

Dieses Schema zeigt ein Prozessierungsbeispiel für die Resists AR-P 6200. Die Angaben sind Richtwerte, die auf die eigenen spezifischen Bedingungen angepasst werden müssen. Weitere Angaben zur Prozessierung ☞ „Detaillierte Hinweise zur optimalen Verarbeitung von E-Beamresists". Empfehlungen zur Abwasserbehandlung und allgemeine Sicherheitshinweise ☞ „Allgemeine Produktinformationen zu Allresist-E-Beamresists".

Beschichtung	AR-P 6200.09 4000 rpm, 60 s 0,2 µm
Temperung (± 1 °C) 	150 °C, 1 min Hotplate oder 150 °C, 30 min Konvektionsofen
E-Beam-Bestrahlung 	Raith Pioneer, Beschleunigungsspannung 30 kV Bestrahlungsdosis (E_0): 65 µC/cm^2
Entwicklung (21-23 °C ± 0,5 °C) Puddle 	AR 600-546 1 min
Stoppen / Spülen	AR 600-60, 30 s, DI-H_2O, 30 s
Nachtemperung (optional) 	130 °C, 1 min Hotplate oder 130 °C, 25 min Konvektionsofen für leicht verbesserte Plasmaätzbeständigkeit
Kundenspezifische Technologien 	z.B. Erzeugung der Halbleitereigenschaften
Removing 	AR 600-71 oder O_2-Plasmaveraschung

Plasmaätzresistenz



CSAR 62 zeichnet sich durch eine hohe Plasmaätzresistenz aus. Hier werden die Ätzraten vom AR-P 6200.09 mit denen vom AR-P 3740 (Photoresist), von AR-P 679.04 (PMMA-Resist) und ZEP 520A in CF_4 + O_2 Plasma verglichen.

Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

Verarbeitungshinweise

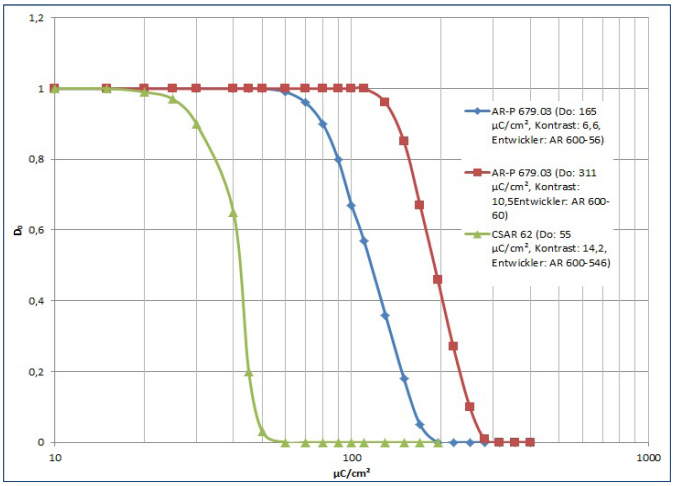
E-Beambelichtung: Die notwendige E-Beam-Bestrahlungsdosis zur Strukturabbildung hängt von der gewünschten minimalen Strukturgröße, dem Entwickler, der Beschleunigungsspannung (1-100 kV) und der Schichtdicke ab.

Die Bestrahlungsdosis des AR-P 6200.09 beträgt bei diesem Versuch (☞ Abb. Vergleich CSAR 62 und PMMA) 55 µC/cm^2 (Dose to clear D0, 30 kV, 170 nm Schicht, Entwickler AR 600-546, Si-Wafer). Der Kontrast wurde hier mit 14,2 bestimmt.

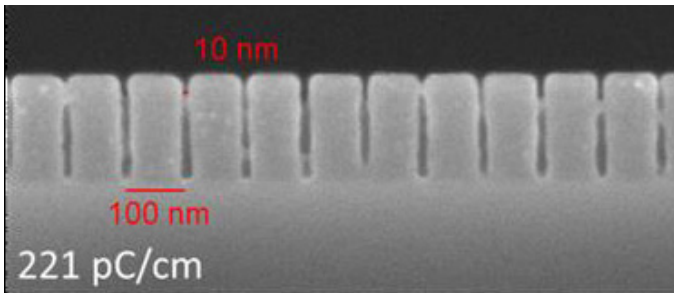
Damit ist der CSAR 62 im Vergleich zum Standard-PMMA AR-P 679.03, 3x empfindlicher (entwickelt im AR 600-56) bzw. 6x empfindlicher (entwickelt im AR 600-60). Auch der Kontrast ist hierbei um den Faktor 2 bzw. 1,4 höher.

Bei der Bestrahlung werden die langkettigen Polymere radikalisch gespalten. Somit ist ein Post-Exposure-Bake nicht erforderlich.

Für die Erzeugung von 10 nm Gräben (174 nm Schicht, 100 nm Pitch) benötigt der AR 6200.09 eine Dosis von ca. 220 pC/cm (30 kV, Entwickler AR 600-546)



Vergleich D_0 und Kontrast CSAR 62 und PMMA



Maximale Auflösung CSAR 62 von 10 nm (180 nm)

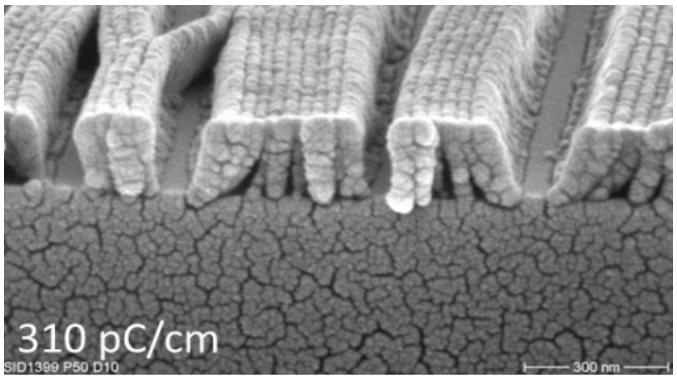
Entwicklung: Zur Entwicklung der belichteten Resistschicht eignen sich die Entwickler AR 600-546, 600-548 und 600-549. Der Entwickler AR 600-546 gewährleistet als schwächerer Entwickler ein breiteres Prozessfenster. Verwendet man den stärkeren Entwickler AR 600-548, kann die Empfindlichkeit um das 6-fache auf < 10 µC/cm^2 gesteigert werden. Der mittelstark wirkende Entwickler AR 600-549 macht den CSAR 62 doppelt so empfindlich im Vergleich zu dem AR 600-546, zeigt er ebenfalls keinen Dunkelabtrag, der Kontrast liegt bei 4.

Für die Tauchentwicklung werden Entwicklungszeiten von 30-60 Sekunden empfohlen. Mit dem Entwickler AR 600-546 ist auch nach 10 Minuten kein Abtrag an den unbelichteten Flächen bei Raumtemperatur messbar.
Dagegen greift der Entwickler AR 600-548 schon nach zwei Minuten die Resistoberfläche erkennbar an. Wird jedoch bei einer Entwicklertemperatur um 0 °C gearbeitet, findet auch nach 5 Minuten kein Abtrag (jedoch unter Empfindlichkeitseinbuße) statt.

Nach dem Entwickeln sollte der Vorgang rasch gestoppt werden. Dazu wird das Substrat für 30 Sekunden im Stopper AR 600-60 bewegt. Optional kann das Substrat zur Entfernung der letzten Lösemittelreste danach noch für 30 Sekunden mit DI-Wasser gespült werden.

Hinweis: Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es durch intensive Spülprozesse zum Kollabieren kleiner Strukturen kommen kann (☞ untenstehende Abb.).

Eine Nachtemperung für spezielle Arbeitsgänge bis max. 130 °C führt zu einer leicht verbesserten Ätzbeständigkeit bei nasschemischen und plasmachemischen Prozessen.

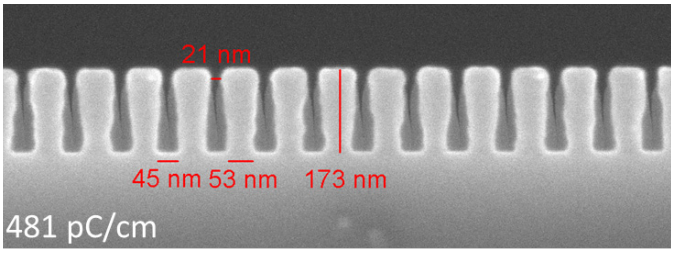


Gefahr von kollabierten Stegen nach zu langem Rinse

Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

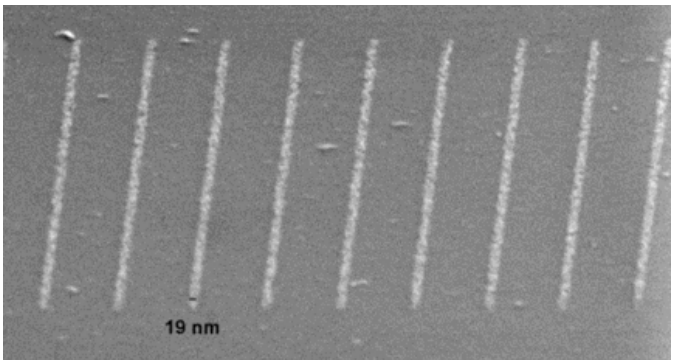
Verarbeitungshinweise

Lift-off-Strukturen: Der Resist CSAR 62 eignet sich sehr gut zur Erzeugung von lift-off-Strukturen bei einer Auflösung von bis zu 10 nm. Mit einer etwa 1,5-2 fach höheren Dosis lassen sich mit dem AR-P 6200.09 schmale Gräben mit einem definierten Unterschnitt erzeugen:

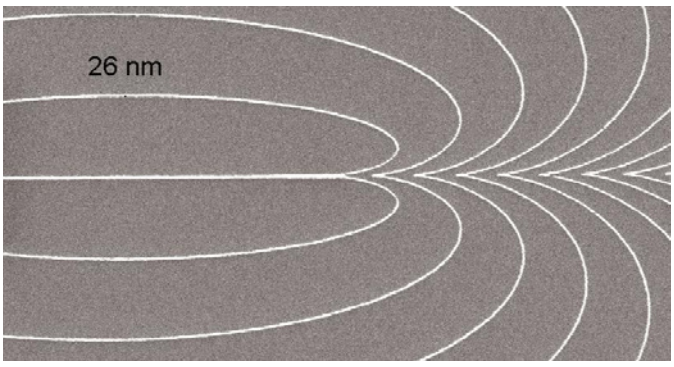


Unterschnittene Strukturen durch erhöhte Dosis

Nach dem Bedampfen mit Metall und dem anschließenden leicht auszuführenden Liften bleiben die Metallstrukturen zurück:

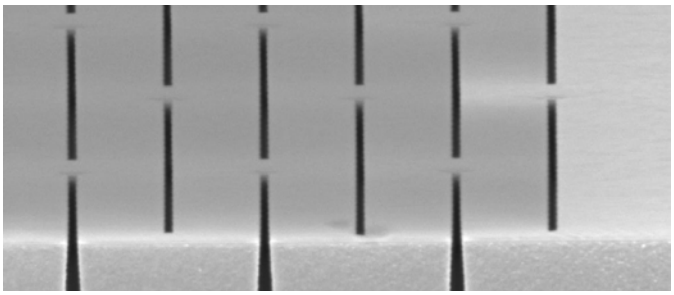


19-nm-Metallbahnen nach Liftprozess mit AR-P 6200.09



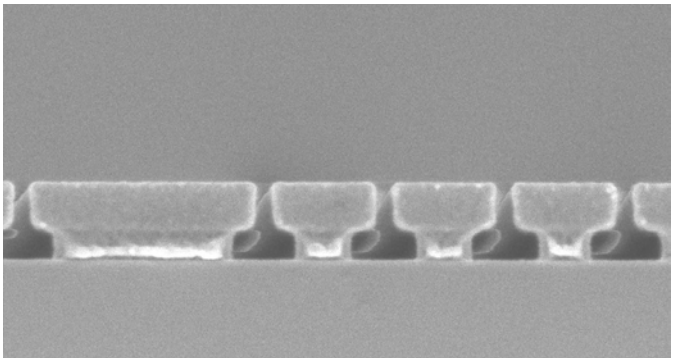
CrAu-Test-Strukturen mit einer Linienbreite von 26 nm

Hohe Schichten für Spezial-Anwendungen:
Mit dem AR-P 6200.13 lassen sich Schichtdicken bis 800 nm und mit dem AR-P 6200.18 bis 1,6 µm erzeugen.



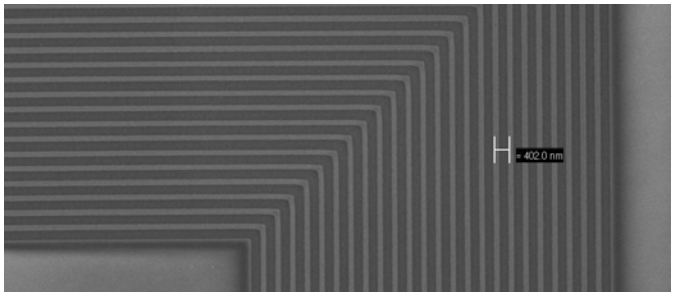
AR-P 6200.13: 100-nm-Gräben bei 830 nm hoher Schicht

Der CSAR 62 findet auch Einsatz in verschiedenen Zweilagen-Systemen. Dabei kann er sowohl als Bottom- als auch als Top-Resist eingesetzt werden:



AR-P 6200.09 hier als Top-Resist für extreme Lift-off-Anwendungen

Ein weiteres Einsatzgebiet für den CSAR 62 sind Maskblanks.



Bei einer Schichtdicke von 380 nm werden mit dem AR-P 6200.13 auf einer Chrom-Maske 100 nm lines&spaces erreicht. Die Empfindlichkeit beträgt 12 µC/cm^2 (20 kV, AR 600-548).

Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

Anwendungsbeispiele für CSAR 62

Künftig können mit CSAR 62 Schaltkreise für den 5Ghz Bereich hergestellt werden, die vor allem für die drahtlose Bluetooth oder Wi-Fi-Technik genutzt werden. Die E-Beam-Lithographie wird auch bei der Erforschung von Nanomaterialien wie Graphen, dreidimensionalen integrierten Schaltkreisen sowie bei optischen und Quantencomputern benötigt. Bei all diesen Technologien wird die Rechenleistung oder Speicherdichte gesteigert. Im Bereich höchster Rechneranforderungen, z.B. bei der numerischen Strömungssimulation oder bei der Raumfahrt, sind Mikrochips mit allerhöchster Integrationsdichte gefragt.

CSAR 62 auf Maskenblanks

Experten am HHI Berlin haben den CSAR 62 auf Maskenblanks getestet (s. Abb. 1). Sie erreichten auf Anhieb eine Auflösung von 50 nm, was für Masken ein ausgezeichneter Wert ist. Aktuell werden auf Masken minimal 100 nm Linien genutzt. Zurzeit erfolgen Probebeschichtungen von Maskenblanks mit CSAR 62, sie werden in absehbarer Zeit allen Kunden über unseren Partner angeboten.

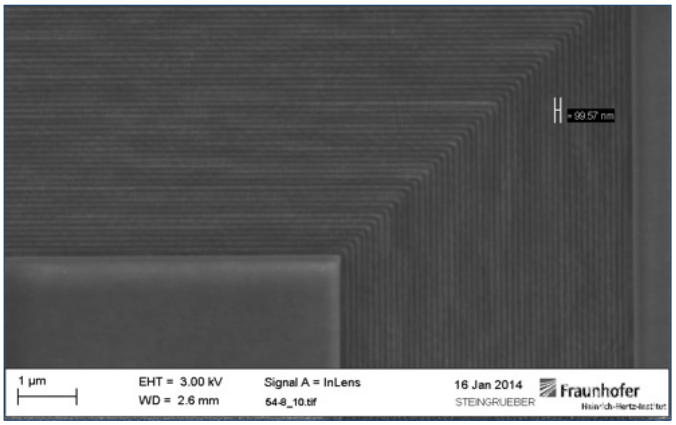


Abb. 1 CSAR 62-Teststruktur auf Maskenblank mit 50 nm Stegen und 50 nm Gräben; pitch line & space hier 99,57 nm

CSAR 62 für die höchstauflösende Lithographie

In der Fachgruppe Nanostrukturierte Materialien der MLU Halle wird CSAR 62 vor allem für die höchstauflösende Lithographie für den Lift-off und als Ätzmaske für trockenchemische Ätzprozesse verwendet. Er zeigt hier mehrere besondere Vorteile. Er erreicht die hohe Auflösung von PMMA, jedoch bei deutlich niedrigerer Dosis. Durch den hohen Kontrast werden senkrechte Resistflanken erzeugt, die auch bei dünnen Schichten einen sicheren lift-off ermöglicht. Das erlaubt einen gleichmäßigen Lift-off bis zu 20 nm:

Abb. 3 Chrom-Strukturen mit 20 nm Linien nach dem Lift-off

Beim Lift-off von Metallstrukturen, z.B. bei der Kontaktierung von Nanodrähten, werden 30-50 nm Abmessungen benötigt. Diese sind zwar auch mit anderen Resists realisierbar, die beim CSAR 62 vorhandene „Auflösungsreserve" ermöglicht jedoch eine deutlich verbesserte Strukturtreue sowie ein schnelleres Design mit weniger Iterationen:

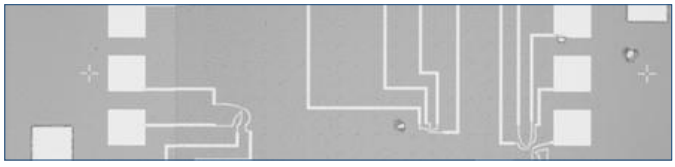


Abb. 4 Typische Struktur zur Kontaktierung von Nanodrähten, große Flächen sind mit kleinen Details gemischt

Beim trockenchemischen Ätzen, zum Beispiel bei der Strukturierung von Siliziumnitrid, bietet der CSAR das Beste aus zwei Welten: Zum einen erlaubt er den Einsatz als hochauflösender Positivresist analog zum PMMA, zum anderen bietet er eine Ätzstabilität, die eher dem Novolak entspricht. Hierdurch können Strukturen mit steilen Flanken erzeugt werden, die die notwendige Ätzstabilität bieten und die häufig auftretende, störende Facettierung an den Rändern vermeiden.

Üblicherweise wird CSAR 62 bei Schichtdicken zwischen 50 und 300 nm eingesetzt. Intensives Plasmaätzen zur Herstellung tiefer Ätzstrukturen erfordert jedoch noch deutlich dickere Resistschichten und stellt besondere Anforderungen an Auflösung und Kontrast. Deshalb wurde der AR-P 6200.18 für hohe Schichtdicken von 0,6-1,6 µm entwickelt. Damit lassen sich besonders gut hohe Metallstrukturen mittels Lift-off, tiefe Plasmaätzprozesse oder Nanowires realisieren.

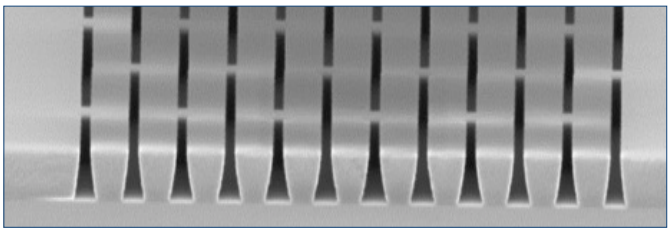
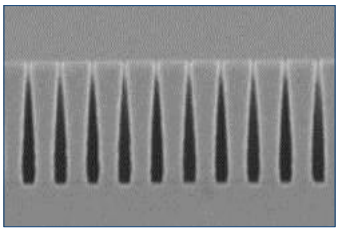


Abb. 5 Lift-off Strukturen mit starkem Unterschnitt bei einer Schichtdicke von 800 nm

Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

Anwendungsbeispiele für CSAR 62

Trotzdem lassen sich bei einer Schichtdicke von 800 nm Gräben einer Breite < 100 nm erzeugen. Der hohe Kontrast wird durch Einsatz unseres Entwicklers AR 600-546 ermöglicht. Erhöht man die Bestrahlungsdosis, kann der Grad des erzeugten Unterschnitts gezielt eingestellt werden (Abb. 5 + 6). Hiermit kann jeder Anwender das für seinen Lift-off-Prozess günstigste Profil auswählen.



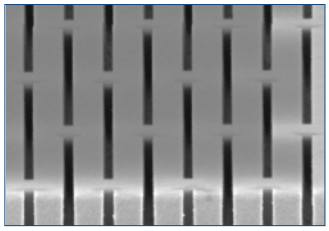


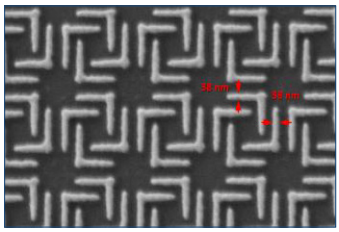
Abb. 6 AR-P 6200.13, 823 nm Schicht, Dosis: 1440 pC/cm

Abb. 7 Senkrechte Strukturen bei einer Flächendosis von 120 µC/cm^2 für Nanowires

Werden in solch dicken Schichten Kreise belichtet und entwickelt, können durch eine hohe Metallabscheidung (Bedampfen, Sputtern oder Galvanik) Säulen (Nanowires) erzeugt werden (siehe senkrechte Flanken in Abb. 7).

Hochpräzise Lift-off-Strukturen mit dem Zweilagensystem CSAR 62 / AR-P 617

Aufgabenstellung am IAP der Friedrich-Schiller-Universität Jena war die Herstellung sehr kleiner, hoch präziser Rechteckstrukturen. Dazu wurde ein Zweischichtsystem aus dem Top Layer AR-P 6200.09 und dem Bottom Layer AR-P 617.06 aufgebaut. Nach der Belichtung mit E-Beam Writer Vistec SB 350OS wurde CSAR 62 mit dem Entwickler AR 600-546 strukturiert, anschließend der Bottom-Layer mit dem Entwickler AR 600-55 entwickelt. Dann erfolgte die Beschichtung mit Gold. Der Lift-off wurde mit einem Gemisch aus Aceton und Isopropanol durchgeführt. Die Strukturen sind in Abb. 12 gezeigt. Die Strukturgrößen betragen 38 nm bei Strukturabständen von etwa 40 nm. Besonders positiv zu bewerten sind die kleinen Krümmungsradien an der Ecke der „L"-Innenseite.



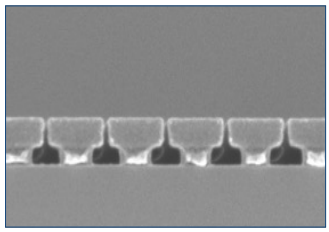


Abb. 12 Hochpräzise L-Strukturen, erzeugt mit dem Zweilagen-System AR-P 6200.09 / AR-P 617.06; rechts Zweilagensystem

CSAR 62 – hochpräzise Quadratstrukturen

Eine ähnliche Zielstellung wurde von dieser Arbeitsgruppe bei der Erzeugung von Quadratstrukturen angestrebt. Auch hier sollten die Ecken über eine besonders gute Auflösung verfügen. Dazu wurde CSAR 62 in einer Schichtdicke von 100 nm mit 50 kV bestrahlt und mit dem Entwickler AR 600-546 entwickelt. Neben den exzellenten Eigenschaften des CSAR 62 ist das Bestrahlungsdesign von entscheidender Bedeutung (siehe Abb. 13, Mitte: A und rechts: B).

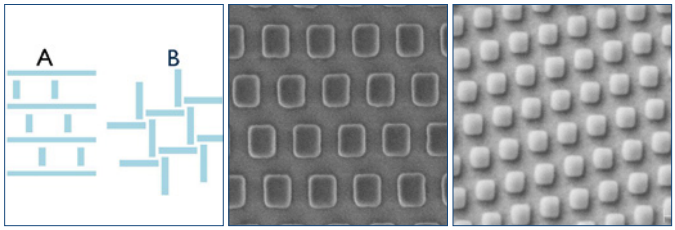


Abb. 13 Unterschiedliche Belichtungsdesigns und die resultierenden Quadratstrukturen (mitte: A, rechts: B)

CSAR 62 – Entwicklung bei tieferen Temperaturen

Die Empfindlichkeit des CSAR 62 kann durch die Wahl des Entwicklers beeinflusst werden. Im Vergleich zum Standard-Entwickler AR 600-546 kann die Empfindlichkeit bei der Verwendung des AR 600-548 fast verzehnfacht werden. Allerdings geht damit ein beginnender Abtrag der unbestrahlten Resistflächen einher. Der ist zu einem bestimmten Maß tolerabel: Wenn man z.B. immer 10 % der Schicht verliert, kann das vorher eingeplant werden. Diesen Abtrag kann man jedoch auch vermeiden, wenn man bei tieferen Temperaturen entwickelt. Allerdings verliert man dadurch wiederum einen Teil der gewonnenen Empfindlichkeit. Es läuft also auf eine Optimierung des Prozesses hinaus. Die tieferen Temperaturen räumen aufgrund der schonenden Entwicklung die Möglichkeit einer Kontraststeigerung oder geringeren Kantenrauigkeit ein.

Positiv-E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

Anwendungsbeispiele für CSAR 62

In Abb. 14-16 sind die Empfindlichkeiten und Auflösungen des AR-P 6200.04 bei 6 °C und 21 °C (Entwickler AR 600-546) dargestellt. Aufgrund des hohen Kontrastes bei 6 °C konnte eine Auflösung von 6 nm erzielt werden.

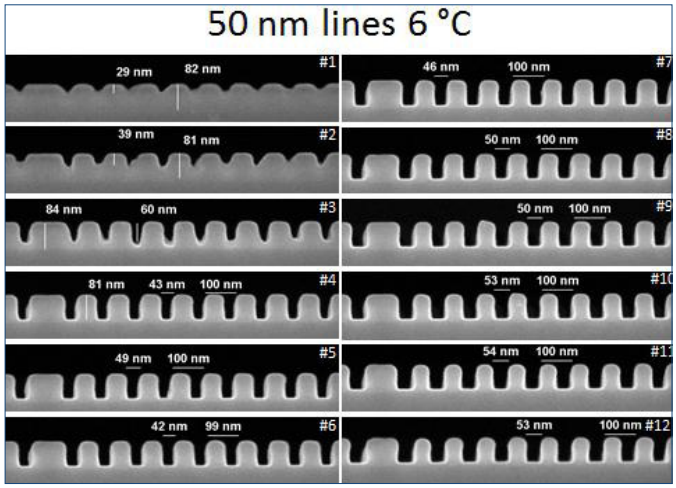


Abb. 14 CSAR 62 Strukturen bei 6 °C, opt. Dosis 195 pC/cm

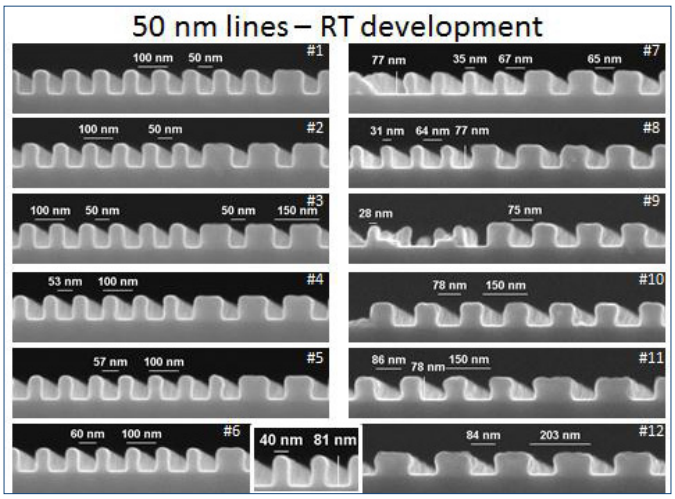


Abb. 15 CSAR 62 Strukturen bei 21 °C, opt. Dosis 121 pC/cm

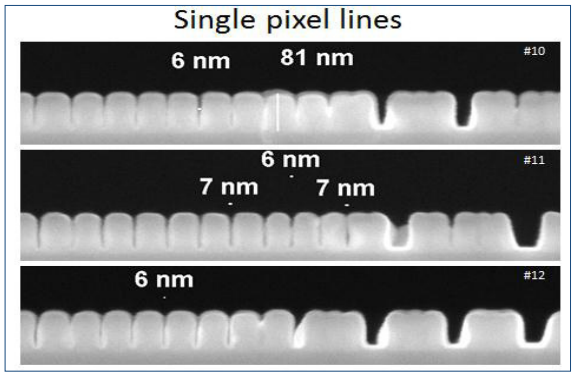


Abb. 16 max. Auflösung von 6 nm bei 235 pC/cm bei 6 °C

Mit 100kV geschriebene CSAR 62-Nanostrukturen

Am Karlsruher Institut für Technologie wurde die Eignung von CSAR 62 für die Herstellung komplizierter Architekturen detailliert untersucht. Dafür wurden CSAR 62–Schichten mit einem EBPG5200Z E-Beam-Writer bei 100kV belichtet und dem Entwickler AR 600-546 entwickelt. Die Ergebnisse sind in den untenstehenden Abbildungen dargestellt.

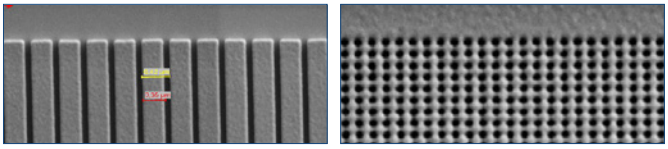


Abb. 17 REM-Bilder (Gold besputtert): CSAR 62 Nanostrukturen, Parameter: Schichtdicke 200nm, Dosis 225µC/cm²,100kV, Entwickler AR 600-546, 3 min, Stopper AR 600-60

Eine besondere Herausforderung ist das Schreiben und Entwickeln nano-dimensionierter Lochstrukturen. Mit CSAR 62 konnte ein Durchmesser von beachtlichen 67nm realisiert werden, wobei das anspruchsvolle Strukturelement ein sehr regelmäßiges Muster aufweist.

Entwickler für T-Gate-Anwendungen mit AR-P 617

Der X AR 600-50/2 ist ein neuer, empfindlicher und sehr selektiver Entwickler für hochgetemperte AR-P 617 Schichten (SB >180°C). Schichten von PMMA oder CSAR 62 werden nicht angegriffen, was insbesondere für Mehrlagenprozesse, z.B. bei der Herstellung von T-Gates, von Bedeutung ist.

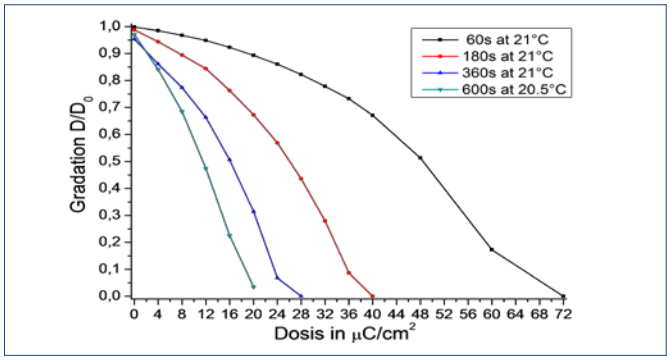


Abb. 18 AR-P 617, Schichtdicke: ~1µm, SB 10 Minuten bei 200°C, 50kV, Dosisstaffel, Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Entwicklungsdauer mit Entwickler X AR 600-50/2 bei Raumtemperatur, Stopper AR 600-60

Die Empfindlichkeit kann gut über die Dauer der Entwicklung gesteuert werden. Bei einer Entwicklungszeit von 60s beträgt die Dose to clear etwa 70 µC/cm², nach 3 minütiger Entwicklung etwa 40 µC/cm², nach 6 Minuten noch 25 µC/cm² und nach 10 Minuten sogar nur etwa 20 µC/cm²! Der Dunkelabtrag ist auch bei längeren Entwicklungszeiten sehr gering.

Positiv - E-Beam Resists AR-P 6200 (CSAR 62)

Fluoreszierende Schichten mit CSAR 62 und PMMA

In positive E-Beamresists wie CSAR 62 und PMMA können fluoreszierende Farbstoffe eingebettet werden. Dafür wurden sowohl PMMA- als auch CSAR 62-Polymere in einem Lösemittelgemisch angesetzt, das auch die Fluoreszenz-Farbstoffe in einem ausreichenden Maße löst. Die Verwendung unterschiedlicher Fluoreszenzfarbstoffe erlaubt eine definiert einstellbare Emission in variablen Wellenlängenbereichen. Die Farbstoffe sind sehr prozessstabil, die Strukturierung erfolgt genauso wie im entsprechenden Standardprozess mit den ungefärbten E-Beamresists. Durch Einbettung in CSAR 62 konnten Resistschichten erzeugt werden, die wahlweise eine violette, blaue, gelbe, orange oder auch rote Fluoreszenz zeigen. Die intensive Fluoreszenz bleibt auch nach Tempern bei 180°C erhalten.

Abb. 19 Iintensiv fluoreszierende Schichten von CSAR 62 auf Glas

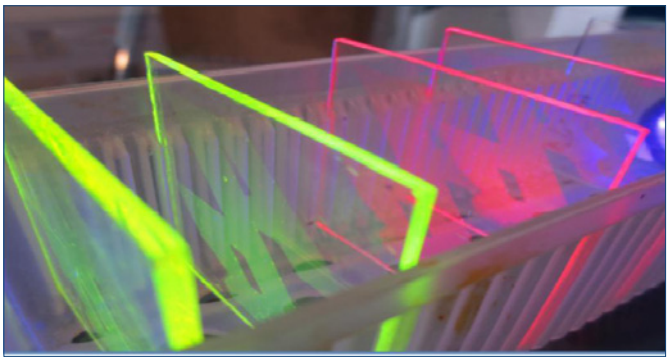


Abb. 20 Fluoreszierende Strukturen (UV-Belichtung mit einer Wellenlänge < 250 nm, Entwickler AR 600-546)

Fluoreszierende PMMA-Architekturen wurden bei der Präzisionsoptik Gera GmbH mittels Elektronen-strahllithographie erzeugt. In einem optimierten Entwickler ließen sich die Strukturen rückstandsfrei entwickeln.

Werden die Resiststrukturen, wie auf den beiden Bildern gezeigt mit UV-Licht angeregt, beginnen sie intensiv zu leuchten.

Abb. 21 Gelb fluoreszierende PMMA basierte Resistarchitekturen

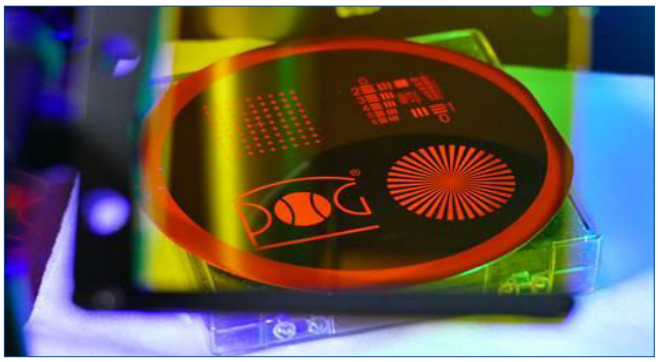


Abb. 22 Rot fluoreszierende PMMA basierte Resistarchitekturen

Aufgrund der Eigenschaften dieser E-Beamresists sind Auflösungen bis in den Bereich von 10 - 20 nm möglich. Der Schwerpunkt der Anwendungen liegt in der optischen Industrie, so werden diese Materialien, z.B. für Nachtsichtgeräte benötigt. Weiterhin finden fluoreszierende Resistschichten auch Anwendung in der Mikroskopie.