

Sicherheit, Reinheit und Leistung in Halbleiter-Reinraumumgebungen

ALMATEC®-AODD-PUMPEN ALS SCHLÜSSELKOMPONENTE FÜR DIE HALBLEITERFERTIGUNG DER NÄCHSTEN GENERATION

Von: Jesse Owen und Daniel Czekaj



Die Pumpen der Almatec® FUTUR-Serie bestehen aus hochwertigen, nichtmetallischen Werkstoffen und wurden für die Förderung und Zirkulation hochreiner Chemikalien in der Halbleiterfertigung entwickelt. Ziel dieser Baureihe ist es, über lange Betriebszeiträume hinweg eine stabile und reproduzierbare Prozessleistung bereitzustellen und gleichzeitig die Anforderungen an chemische Reinheit, Arbeitssicherheit und Anlagenverfügbarkeit zu erfüllen. In zahlreichen Fertigungsstandorten weltweit haben sich die Pumpen als bewährter Standard etabliert und unterstützen Hersteller dabei, ein hohes Niveau an Sicherheit, Reinheit und Prozessleistung sicherzustellen.

Einleitung

Die Halbleiterindustrie wächst in einem beispiellosen Tempo. Treiber sind unter anderem die Nachfrage nach fortschrittlicher Elektronik, die Ausweitung von 5G-Infrastrukturen, datenintensive KI- und HPC-Anwendungen sowie die zunehmende Vernetzung im Sinne des „Internet of Things“. Parallel dazu schreitet die Miniaturisierung der Chipgeometrien kontinuierlich voran, während Produktionsvolumina steigen und Prozessfenster enger werden. Unter diesen Bedingungen können bereits geringfügige Verunreinigungen oder kurze Anlagenunterbrechungen messbare Ausbeuteverluste verursachen und erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen nach sich ziehen.

Diese Rahmenbedingungen stellen nicht nur Anforderungen an die eingesetzten Fertigungswerkzeuge, sondern ebenso an sämtliche unterstützenden Systeme und Komponenten. Insbesondere Pumpen, die für Transfer, Zirkulation oder Entsorgung von Prozessmedien eingesetzt werden, müssen während des gesamten Produktionszyklus strenge Kriterien hinsichtlich Reinheit, Betriebssicherheit und Verfügbarkeit erfüllen. In vielen Anwendungen sind zudem eine zuverlässige Selbstansaugfähigkeit, ein definierter und stabiler

Förderstrom sowie eine robuste Auslegung für schwankende Betriebsbedingungen erforderlich.

Mit dem fortschreitenden Ausbau von Kapazitäten und der wachsenden Komplexität moderner Prozessketten steigen die Anforderungen an Pumpentechnologien spürbar. Ob beim Transfer hochreiner Lösungsmittel, bei der sicheren Handhabung aggressiver Abfallströme oder beim Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen: Reinraumkompatible Pumpsysteme müssen kompromisslos zuverlässig arbeiten, ohne empfindliche Prozessumgebungen zu kontaminieren oder neue Gefährdungen zu erzeugen. Gleichzeitig werden Wartungsfenster in hochautomatisierten Fertigungen tendenziell kürzer, was die Bedeutung wartungsarmer und servicefreundlicher Systeme weiter erhöht.

In diesem Kontext hat sich eine Technologie durch besondere Eignung für anspruchsvolle Anwendungen hervorgetan: die druckluftbetriebene Doppelmembranpumpe (AODD-Pumpe). Die Kombination aus metallfreier Konstruktion, hoher chemischer Beständigkeit, Selbstansaugfähigkeit und optionaler ATEX-Zulassung führt dazu, dass AODD-Pumpen in Halbleiter-Reinraumumgebungen zunehmend eingesetzt werden, insbesondere dort, wo aggressive, toxische oder entzündliche Medien sicher gefördert werden müssen.

Dieses White Paper erläutert, wie AODD-Pumpen (und hier besonders die leitfähige Ausführungen für Lösungsmittelanwendungen) Halbleiterhersteller dabei unterstützen können, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Betriebszeit zu erhöhen, ohne die Reinraumanforderungen moderner Fertigungsprozesse zu kompromittieren.

Die Herausforderungen der Reinraum-Pumpentechnik verstehen

Reinräume in Halbleiterfabriken sind streng kontrollierte Umgebungen, in denen selbst mikroskopisch kleine Partikel die Qualität von Wafern beeinträchtigen oder ganze Produktionslose unbrauchbar machen können. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an Werkstoffauswahl, Oberflächenbeschaffenheit und konstruktive Auslegung der Prozessausrüstung, einschließlich der eingesetzten Pumpen. Von besonderer Bedeutung sind die Minimierung von Partikelgenerierung, Abrieb und Delamination sowie die Vermeidung von Spurenmetallfreisetzung in medienberührten Bereichen.

Über die Reinheitsanforderungen hinaus bringen bestimmte Prozessschritte zusätzliche sicherheitsrelevante Risiken mit sich. Anwendungen wie der Transfer von Lösungsmitteln, das Pumpen von Alkoholen, die Handhabung von Abfallströmen oder das Entleeren und Entlüften von Tanks können Medien umfassen, die leicht entzündlich sind oder explosive Atmosphären bilden. In solchen Fällen können elektrostatische Entladungen oder Metall-auf-Metall-Kontakte innerhalb eines Aggregats potenzielle Zündquellen darstellen. Entsprechend gewinnt die Fähigkeit zur kontrollierten Ableitung elektrostatischer Ladungen und zur Vermeidung funkenbildender Kontaktpaarungen eine zentrale Bedeutung.

Halbleiterfertigungsanlagen müssen zudem internationale Explosionsschutzanforderungen erfüllen. In Europa sind insbesondere die ATEX-Richtlinien (ATmosphäres EXplosibles) maßgeblich, die Geräte und Schutzsysteme für den Einsatz in potenziell explosionsgefährdeten Bereichen regeln. Pumpensysteme, die in solchen Zonen betrieben werden, müssen entsprechend zertifiziert sein. In der Praxis ist es anspruchsvoll, Pumpen zu spezifizieren, die gleichzeitig die Reinraumtauglichkeit unterstützen, eine kontaminationsarme Medienberührung gewährleisten und die Anforderungen an Explosionsschutz in definierten Zonen erfüllen. Genau an dieser Schnittstelle kann AODD-Technologie besondere Vorteile bieten.

Darüber hinaus müssen Pumpensysteme unter wechselnden chemischen Bedingungen und Temperaturen zuverlässig funktionieren; häufig in geschlossenen Schränken, Unterflursystemen oder kompakten Prozessmodulen. Wartungszugänge sind begrenzt, weshalb robuste Konstruktionen, definierte Montage- und Reinigungsprozesse sowie eine servicefreundliche Auslegung wichtig sind. Gleichzeitig darf die Sicherheit nicht beeinträchtigt werden. Vor diesem Hintergrund ist die gezielte Spezifikation von Pumpentechnologien, die für die besonderen Betriebs- und Sicherheitsanforderungen in Reinraumumgebungen entwickelt wurden, von wesentlicher Bedeutung, insbesondere für Nischen- oder Gefahrenanwendungen.

Einsatzpotenzial von AODD-Pumpen in der Halbleiterindustrie

AODD-Pumpen werden seit Jahrzehnten in anspruchsvollen Industrien eingesetzt, da sie ein breites Spektrum an Medien sicher fördern können und zugleich konstruktive Vorteile für kritische Umgebungen bieten. In Halbleiteranwendungen ergeben sich gegenüber mechanischen Verdrängerpumpen oder Kreiselpumpen insbesondere die folgenden Nutzenaspekte:

1. Metallfreier, kontaminationsfreier Betrieb:

AODD-Pumpen in Halbleiterqualität werden häufig vollständig aus Hochleistungskunststoffen oder PTFE-basierten Werkstoffen gefertigt. Durch diese Bauweise wird das Risiko von Spurenmetallkontaminationen minimiert; ein entscheidender Faktor bei hochreinen Flüssigkeiten und Lösungsmitteln in sensiblen Fertigungsprozessen.

2. Leitfähigkeit und Kontrolle elektrostatischer Entladungen:

Spezielle AODD-Pumpen aus leitfähigen Kunststoffen, beispielsweise kohlenstoffgefülltem, leitfähigem ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMW-PE), ermöglichen den sicheren Flüssigkeitstransfer in explosionsgefährdeten oder brennbaren Umgebungen. Die kontrollierte Ableitung elektrostatischer Ladungen erfolgt dabei, ohne metallische Komponenten als potenzielle Kontaminationsquelle einzubringen.

3. ATEX-Zertifizierung: Führende AODD-Pumpenmodelle erfüllen die Anforderungen relevanter ATEX-Zonen (z. B. Zone 2) und eignen sich damit für Anwendungen wie die Handhabung von Lösungsmitteln, den Transfer von Alkoholen oder die Entsorgung chemischer Medien in explosionsgefährdeten Anlagenbereichen.

4. Einteilige PTFE-Membranen: Moderne AODD-Membranen werden aus massivem PTFE gefertigt, um hohe Standzeiten und ein minimiertes Delaminierungsrisiko zu gewährleisten. Dies ist



Der Almatec® FUTUR 100F wurde speziell für hochreine sowie ATEX-konforme Lösungsmittelanwendungen entwickelt. Er besteht aus elektrisch leitfähigem ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMW-PE), das eine hohe chemische Beständigkeit, ausgezeichnete Abriebfestigkeit und zuverlässige elektrische Leitfähigkeit kombiniert. Damit adressiert die Baureihe gezielt Anwendungen, in denen sowohl Reinheit als auch Explosionsschutz eine Rolle spielen.



Jede Komponente der Almatec® FUTUR-Serie wird mehrfach gereinigt und unter Reinraumbedingungen gemäß ISO-Klasse montiert, um eine kontaminationsarme und reproduzierbare Leistung sicherzustellen. Ein konsequentes Reinigungs- und Montagekonzept trägt dazu bei, Variabilität zu reduzieren und die Eignung für Reinraumprozesse langfristig abzusichern.

insbesondere bei aggressiven Medien und langen Einsatzzyklen relevant, da Membranversagen sowohl die Betriebssicherheit als auch die Prozessreinheit beeinträchtigen kann.

5. Gerade Durchflusswege und minimale Umlenkungen:

In Bei ausgewählten AODD-Konstruktionen ist die Strömungsführung so gestaltet, dass Umlenkungen, Toträume und raue Oberflächenbereiche reduziert werden. Dies kann Partikelbildung und Ablagerungstendenzen verringern und unterstützt eine bessere chemische Verträglichkeit des Gesamtsystems.

6. Selbstansaugend, scherarm und wartungsarm: AODD-Pumpen sind selbstansaugend, trockenlauffähig und arbeiten konstruktionsbedingt scherarm. Dadurch eignen sie sich für Anwendungen, bei denen empfindliche Medien oder definierte Prozessbedingungen eingehalten werden müssen. Viele Ausführungen verfügen über Luftsteuerungssysteme, die ohne externe Schmierung oder Elektronik arbeiten und damit den Wartungsaufwand reduzieren.

7. Lebenszykluskosten und Betriebseffizienz: Im Vergleich zu anderen Pumpentypen können AODD-Pumpen über den Lebenszyklus hinweg wirtschaftliche Vorteile bieten. Die robuste Konstruktion, geringe Instandhaltungsanforderungen und hohe Medienkompatibilität reduzieren ungeplante Stillstände und vereinfachen Ersatzteilstrategien. Daraus ergeben sich niedrigere Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership) und eine höhere Planbarkeit im Betrieb.

Alkohole, Lösungsmittel und Abfallströme

Während AODD-Pumpen in Halbleiterqualität häufig in Kreisläufen hochreiner Prozesschemikalien eingesetzt werden, stellen bestimmte Anwendungen eine zusätzliche Herausforderung dar: die sichere Förderung potenziell explosiver oder chemisch aggressiver Medien innerhalb von Reinraumumgebungen. In diesen Fällen stehen neben der

chemischen Beständigkeit insbesondere die Vermeidung von Zündquellen, die Kontrolle elektrostatischer Aufladung sowie die Einhaltung regulatorischer Vorgaben im Vordergrund.

Dazu gehören:

- Alkoholtransfer für Reinigungs- und Spülprozesse
- Zirkulation von Lösungsmitteln und Abbeizmitteln in Lithografie- und Ätzprozessen
- Systeme zur Rückgewinnung von chemischen Abfällen und Lösungsmitteln
- Entlüftung und Entleerung von Tanks oder Schränken in explosionsgefährdeten Bereichen

In vielen dieser Anwendungen ist der Einsatz von ATEX-konformen Pumpensystemen nicht nur eine bewährte Sicherheitsmaßnahme, sondern eine regulatorische und versicherungstechnische Anforderung. Die Einhaltung dieser Standards ohne Beeinträchtigung der Reinraumkompatibilität ist jedoch anspruchsvoll, da Explosionsschutz zusätzliche Anforderungen an Werkstoffe, Erdungskonzepte und elektrische Eigenschaften stellt. Gleichzeitig müssen Medienpfade kontaminationsarm ausgelegt sein, und der Betrieb darf die Prozessstabilität nicht beeinträchtigen.

Die Verfügbarkeit einer vollständig metallfreien, leitfähigen und ATEX-zugelassenen AODD-Pumpe schließt diese Lücke. Sie ermöglicht es Anlagen, Explosionsschutzstandards einzuhalten, ohne die chemische Reinheit oder die Anlagenverfügbarkeit zu kompromittieren. Die AODD-Pumpen der FUTUR-Serie von Almatec®, einer Produktmarke von PSG (Dover-Gruppe), wurden gezielt für solche Umgebungen und Einsatzprofile entwickelt.

Leitfähige, ATEX-zertifizierte FUTUR AODD-Pumpen

Die Entwicklung der Almatec FUTUR-Serie wurde durch spezifische Anforderungen von Kunden aus der Halbleiterindustrie vorangetrieben. Anwender wollten die etablierten Vorteile der nichtleitenden FUTUR-Pumpen nutzen, besonders die einteilige PTFE-Membran und die Reinraumtauglichkeit. Sie benötigten jedoch zusätzlich eine Version, die sicher in ATEX-regulierten Umgebungen betrieben werden kann. Das Ergebnis ist eine kohlenstoffgefüllte, elektrisch leitfähige AODD-Pumpe, die Reinraumkompatibilität und Explosionsschutz in einem System vereint.

Die Almatec FUTUR ist in verschiedenen Baugrößen erhältlich und gehört zu den wenigen Pumpen am Markt, die die seltene Kombination aus ATEX-Zertifizierung, vollständig metallfreier Konstruktion und einer gefrästen, einteiligen PTFE-Membran bieten. Diese Merkmalskombination ist besonders relevant für Fertigungsprozesse, in denen Verunreinigungen, potenzielle Funkenbildung oder materialbedingter Abbau nicht toleriert werden können. Die leitfähige Kunststoffkonstruktion reduziert das Risiko elektrostatischer Entladungen, ohne metallische Komponenten erforderlich zu machen, und unterstützt damit die Einhaltung strenger Sicherheitsanforderungen in Reinraumumgebungen.

Auch unter praktischen Gesichtspunkten ist die FUTUR-Serie auf hohe Betriebssicherheit ausgelegt. Die einfache Installation und die robuste Konstruktion unterstützen kurze Inbetriebnahmezeiten und stabile Standzeiten. Das Almatec PERSWING P®-Luftsteuerungssystem arbeitet ohne Schmierung und ist wartungsarm ausgelegt, was die Komplexität im Betrieb reduziert, und Wartungsintervalle verlängern kann. In hochautomatisierten Produktionsumgebungen, in denen Unterbrechungen mit hohen Folgekosten verbunden sind, stellt dies einen wesentlichen Beitrag zur Anlagenverfügbarkeit dar.

Als Hinweis auf die Marktdurchdringung und das Vertrauen der Anwender in die Zuverlässigkeit der AODD-Pumpen von Almatec wurden bereits mehr als 400 Einheiten bei Unternehmen in der Region Dresden installiert, auch bekannt als „Silicon Saxony“. Diese Region hat sich zu einem führenden Zentrum Europas für Halbleiterfertigung und Mikroelektronik entwickelt, in dem globale Akteure neben einem robusten Netzwerk mittelständischer Unternehmen sowie hochmoderner Forschungsinstitute tätig sind.

Mit seinem Ökosystem aus Zulieferern, Universitäten und angewandten Forschungszentren verbindet Dresden industrielle Stärke mit wissenschaftlicher Expertise. Dieses Zusammenspiel unterstützt Fortschritte in Prozessdesign, Anlagenbau und Qualitätssicherung entlang der Wertschöpfungskette. Die starke Präsenz von Almatec in diesem innovationsgeprägten Umfeld unterstreicht den Anspruch, zuverlässige und reinraumtaugliche Pumpentechnologie für sicherheitskritische Anwendungen bereitzustellen.

Schlussfolgerung

In einer Halbleiterindustrie, die durch hohe Präzision, strenge Reinheitsvorgaben und umfassende Sicherheitsanforderungen geprägt ist, ist die Auswahl geeigneter Pumpentechnologien für spezialisierte Anwendungen von zentraler Bedeutung. AODD-Pumpen, insbesondere leitfähige, vollständig metallfreie und nach ATEX-Normen zertifizierte Ausführungen wie die Almatec FUTUR-Serie, ermöglichen es Halbleiterfabriken, aggressive oder brennbare Medien sicher zu fördern, ohne die Integrität des Reinraums zu beeinträchtigen.

Während Betreiber ihre Produktion skalieren, Kontaminationsrisiken minimieren und zugleich strenge regulatorische Anforderungen erfüllen müssen, gewinnt die Rolle fortschrittlicher AODD-Pumpen an strategischer Bedeutung. Sie sind nicht lediglich Hilfsaggregate, sondern tragen als Prozesskomponente dazu bei, die nächste Generation der Halbleiterfertigung stabil, sicher und zuverlässig zu unterstützen.

Da sich die Branche kontinuierlich weiterentwickelt, wird der Bedarf an vielseitigen, sicheren und kontaminationsarmen Pumpentechnologien weiter steigen. Mit der Entscheidung für Almatec FUTUR sichern sich Fabriken eine robuste und bewährte Lösung, um sowohl aktuelle Betriebsanforderungen als auch zukünftige technologische und regulatorische Herausforderungen ohne Kompromisse zu adressieren.

Über die Autoren:

Jesse Owen ist Business Development Manager North America bei Almatec. Er ist unter jesse.owen@psgdover.com erreichbar. Daniel Czekaj ist Business Development Manager DACH bei Almatec. Er ist unter daniel.czekaj@psgdover.com erreichbar.

Almatec ist eine Produktmarke von PSG, einem Unternehmen der Dover Corporation mit Sitz in Downers Grove, Illinois, USA. PSG umfasst mehrere führende Marken, darunter Mouvex, IPP, Almatec, Blackmer und Wilden. PSG-Produkte werden auf drei Kontinenten, Nordamerika, Europa und Asien, in hochmodernen, ISO-zertifizierten Werken hergestellt, die nach den Prinzipien der schlanken Fertigung arbeiten. PSG ist Teil des Geschäftsbereichs Pumps & Process Solutions der Dover Corporation. Weitere Informationen zu PSG finden Sie unter psgdover.com.
PSG: Where Innovation Flows.