Fotolack-basierter semi-additiver Herstellungsprozess für Flex-(Folien)-Leiterbahnen

Kategorien	Copyright?	Bezugsjahr:	Geographischer Bezug:
▪ Mikroelektronik Produktion ▪ CO_2-Bilanz eines Fertigungsprozesses	Ja	2023	Deutschland

Technologiebeschreibung:

Das semi-additive Fertigungsverfahren wird zur Herstellung strukturierter Metallisierungen auf Polymersubstraten eingesetzt. Es ist im Rolle-zu-Rolle-Format etabliert und eignet sich besonders für die Produktion hochauflösender Verdrahtungsleitungen auf flexiblen Substraten.

Im Verfahren wird zunächst ein vollflächiger Metallschichtstapel, bestehend aus einer dünnen Chrom-Haftschicht und einer Kupferkeimschicht, mittels Sputterverfahren auf das Substrat aufgebracht. Anschließend wird ein Negativ-Trockenfilm-Fotoresist laminiert, und das Layout wird mit einem digitalen Belichtungsgerät belichtet und entwickelt. Die gewünschte Kupferdicke wird dann an den belichteten Kupferbereichen durch Galvanisierung additiv aufgebaut. Nach der Galvanisierung wird der Fotolack entfernt, und die Keimmetallschichten werden geätzt. Die verstärkten Kupferbereiche verbleiben und bilden die Leiterbahnen.

Bezugsgröße:

Die bewertete funktionelle Einheit war ein Prozessdurchlauf des Herstellungsprozesses, der zu einer vollständig entwickelten Filmrolle für jeden der Prozesse führte. Eine Folienrolle ist 30 m lang und 215 mm breit, was einer Fläche von 6,45 m^2 entspricht. Die Ergebnisse werden für einen Prozessdurchlauf angegeben.

Copyright:

Fraunhofer EMFT - Dieser Datensatz ist im öffentlich geförderten Projekt Green ICT @ FMD entstanden und ist zu 100% vom BMBF gefördert. mehr Informationen

Systemgrenzen:

Cradle-to-gate

Datenqualität, -herkunft:

Die Prozessdaten wurden am Fraunhofer EMFT im Rahmen einer Forschungsumgebung erfasst. Diese Daten beziehen sich ausschließlich auf die Prozessparameter; andere Aspekte der Fertigungsumgebung, wie z.B. Raumbelüftung, wurden nicht berücksichtigt.

Hintergrunddaten wurden mit Sphera LCA for Experts und ecoinvent v3.9 modelliert. Für den Energieverbrauch wurde ein deutscher Energiemix verwendet.

Das verwendete Substrat ist eine Polyimidfolie. Da keine Literatur- oder Modellierungsdaten für Polyimidfolie verfügbar waren, wurde PET-Folie als Ersatz gewählt, da dieser Folientyp ebenfalls am Fraunhofer EMFT für vergleichbare Anwendungen verwendet wird. Der Argonbedarf für das Sputtern wurde basierend auf internen Berechnungen abgeschätzt.

Die Galvanikbäder werden nach einer festgelegten Zeit gewechselt, nicht nach dem Durchsatz oder der Anzahl der Durchläufe. Daher wurde der Durchsatz auf Grundlage der Anzahl der Arbeitstage im Jahr geschätzt (230 Arbeitstage, ein Durchlauf dauert etwa drei Arbeitstage). Es wurde von 75 Durchläufen pro Jahr und somit auch pro Bad ausgegangen. Die Menge der benötigten Chemikalien wurde entsprechend berechnet.

Der hauptsächlich verwendete Fotolack ist ein negativ arbeitender Trockenresist aus der MX50000-Serie von DuPont. Dieser besteht aus einem mikrolithografischen Polymerfilm mit einer Dicke von 15 µm sowie zwei Schutzschichten: einer Polyesterschicht (20 µm) und einer Polyethylenschicht (jeweils 20 µm).

Da keine AKI-Daten für den Fotolack gefunden werden konnten, wurde ein Modell basierend auf Literaturrecherche entwickelt. Die äußeren Schutzschichten wurden als Polyester bzw. Polyethylen modelliert. PMMA wird als Photoresist verwendet, was im Einklang mit der Angabe von DuPont steht, dass ihr Fotolack ein Acrylat ist. Das Volumen der jeweiligen Schichten wurde auf Grundlage der Bandfläche und der Dicke berechnet. Aufgrund fehlender Daten wurden das Sensibilisierungsmittel und die Herstellungsenergie des Fotolacks vernachlässigt. Da das Sensibilisierungsmittel in der Regel nur einen kleinen Teil des Fotolacks ausmacht, sollte das Modell dennoch eine ausreichend genaue Annäherung bieten.

Für die Strukturierung des Fotolacks wurde eine virtuelle Fotomaske verwendet, die daher nicht im Inventar aufgeführt ist. Beim Ätzprozess wurde angenommen, dass ein Becken mit Ätzchemikalien für sechs Prozessläufe ausreicht, bevor es ausgetauscht wird. Die chemische Belastung wurde entsprechend verteilt. 0,33 kg Kaliumhexacyanoferrat(III), das ebenfalls für den Ätzprozess benötigt wird, wurden vernachlässigt, da keine Modellierungsdaten vorlagen.

Der Fotolackabfall wurde als Gewerbeabfall modelliert. Für die Chemikalien wurden Filtermechanismen angenommen, die feste Abfälle (die als gefährlich gelten) und Abwasser erzeugen. Beim Entfernen des Fotolacks wurde ein alternativer Ansatz berücksichtigt: Der unbelichtete Fotolack löst sich während der Entwicklung vollständig in der Kaliumkarbonatlösung auf und wird ins Abwasser eingeleitet. Der belichtete Resist bleibt beim Strippen mit Kaliumcarbonat weitgehend als Feststoff zurück, der gefiltert und im Gewerbeabfall entsorgt wird. Die verbleibende Kaliumcarbonatlösung wird ebenfalls ins Abwasser eingeleitet.

Datenübersicht:

Sachbilanz

Inputs	Menge	Einheit	Menge	Einheit
1 - Sputtering (Copper/ chromium)				
PET sheet	6,45	m²/Rolle	1,00	m²
Copper	0,214	kg/Rolle	0,033	kg/m²
Chromium	0,0057	kg/Rolle	0,00088	kg/m²
Electricity	38,22	kWh/Rolle	5,93	kWh/m²
Argon	15,1	L/Rolle	2,34	L/m²
2 - Pattering of photoresist				
Prepared foil	1	Rolle	1	m²
Electricity	23,53	kWh/Rolle	3,65	kWh/m²
Photoresist assumption				
Polyester film	122	cm³/Rolle	18,91	cm³/m²
PMMA film	91,5	cm³/Rolle	14,19	cm³/m²
Polyethylene film	122	cm³/Rolle	18,91	cm³/m²
Soda (Na2CO3)	91,5	kg/Rolle	14,19	kg/m²
Water (deionized; desalted)	16,67	L/Rolle	2,58	L/m²
3 - Electroplating				
Patterned foil	1	Rolle	1,00	m²
Copper sulfate	0,0804	kg/Rolle	0,012	kg/m²
Copper anode	0,038	kg/Rolle	0,0059	kg/m²
Water (deionized; desalted)	15	L/Rolle	2,33	L/m²
Electricity	45,89	kWh/Rolle	7,11	kWh/m²
4 - Resist removal				
Etched foil	1	Rolle	0,16	kg/m²
Potassium hydroxide	0,5	kg/Rolle	0,08	kg/m²
Water (deionised; desalted)	16,67	kg/Rolle	2,58	L/m²
Electricity	20,95	kWh/Rolle	3,25	kWh/m²
5 - Etching (Copper/Chromium)				
Stripped foil	1	Rolle	1,00	m²
Sodium hydroxide	0,17	kg/Rolle	0,026	kg/m²
Sodium persulfate	1,67	kg/Rolle	0,26	kg/m²
Water (deionised; desalted)	22	L/Rolle	3,41	L/m²
Electricity	6,1	kWh/Rolle	0,95	kWh/m²

Outputs	Menge	Einheit	Menge	Einheit
1 - Sputtering (Copper/ chromium)				
Prepared foil	1	Rolle	1,00	m²
Copper waste	0,197	kg/Rolle	0,031	kg/m²
Copper-clad foil (solid waste)	3,7	m²/Rolle	0,57	m²/m²
Chromium waste	0,00426	kg/Rolle	0,00082	kg/m²
2 - Patterning of photoresist				
Structured foil	1	Rolle	1,00	m²
Photoresist (waste)	3,34	m²/Rolle	0,52	m²/m²
Hazardous waste	1,67	kg/Rolle	0,26	kg/m²
Waste water from process	16,67	L/Rolle	2,58	L/m²
Waste water for cleaning	13,33	L/Rolle	2,07	L/m²
3 - Electroplating				
Plated foil	1	Rolle	1,00	m²
Hazardous waste	0,0804	kg/Rolle	0,01	kg/m²
Waste water	15	L/Rolle	2,33	L/m²
Waste water for cleaning	13,33	L/Rolle	2,07	L/m²
4 - Resist removal				
Plated foil	1	Rolle	1,00	m²
Commercial waste	0,5	kg/Rolle	0,078	kg/m²
Waste water from process	16,67	L/Rolle	2,58	L/m²
Waste water for cleaning	13,33	L/Rolle	2,07	L/m²
5 - Etching (Copper/Chromium)				
Finished foil	1	Rolle	1,00	m²
Hazardous waste	1,84	kg/Rolle	0,29	kg/m²
Waste water from process	22	L/Rolle	3,41	L/m²
Waste water for cleaning	26,66	L/Rolle	4,13	L/m²