

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Metallisierungsverfahren im Vergleich	6
2.1	Hochvakuumbedampfung mit Schablonen	6
2.2	Photolithographie	7
2.2.1	Photolithographie mit Lift-off Verfahren	7
2.2.2	Fodel®-Verfahren	8
2.2.3	Dickfilm Lift-off Verfahren.....	10
2.2.4	Dickfilm Photoätzverfahren	11
2.2.5	Mid-Film® Verfahren.....	11
2.2.6	Zusammenfassung photolithographischer Verfahren	12
2.3	Laserinduzierte Metallisierung	12
2.3.1	Laserbelichtung von Dickfilmpasten	13
2.3.2	Laserinduzierte Metallisierung mit Schattenmaske	13
2.3.3	Gasphasen Laser-CVD (Photo-Assisted Direct Writing)	14
2.3.4	Zusammenfassung laserinduzierter Metallisierungsverfahren	15
2.4	Kontaktierung von Solarzellen mit Metalldrähten.....	15
2.4.1	Thermosonicschweißen	16
2.4.2	Solarzellenkontaktierung mit Metalldrahtgeweben	18
2.5	Grabenkontaktierungen von Solarzellen	19
2.5.1	Laser Grooved Buried Contact Solarzelle	19
2.5.2	Embedded Paste Grid Solarzellen (EPG).....	20
3	Druckverfahren im Vergleich	22
3.1	Drucken.....	22
3.2	Druckvorstufe	23
3.3	Druckverfahren.....	24
3.4	Hochdruck.....	26
3.4.1	Buchdruck - Microcontact Printing μ CP	27
3.4.2	Heißprägefoliendruck	29
3.4.3	Flexodruck.....	29
3.5	Tiefdruck.....	30
3.5.1	Direkter Tiefdruck.....	31
3.5.2	Indirekter Tiefdruck	31
3.6	Flachdruck.....	31

3.6.1	Direkter Flachdruck	32
3.6.2	Indirekter Flachdruck.....	32
3.6.2.1	Offsetdruck	32
3.6.2.2	Driographie – wasserloser Offset	33
3.7	Durchdruck.....	34
3.8	Sofortdruck.....	34
3.8.1	Dispensing - Direct Writing.....	34
3.8.2	Tintenstrahldruck (Inkjet).....	37
3.8.2.1	Continuous-Ink-Jet (CIJ).....	37
3.8.2.2	Drop-On-Demand Inkjet (DOD)	38
3.8.3	Schoopen	40
4	Durchdruck.....	41
4.1	Entstehungsgeschichte des Siebdruckes und der gedruckten Schaltungen	41
4.2	Druckvorstufe im Siebdruck.....	42
4.2.1	Druckformvorbereitung - Kopiervorlagenerstellung	43
4.2.1.1	Kopiervorlagenerstellung mittels RIP	43
4.2.1.2	Kopiervorlagenerstellung mittels Gerber-Sprache	43
4.2.2	Siebdruckform	44
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	44
4.2.2.2	Schablonenträger	45
4.2.2.3	Spannung und Winkelung.....	50
4.2.2.4	Schablone.....	53
4.2.2.5	Siebdruckform	54
4.3	Flachbettsiebdruckmaschinen	60
4.4	Druckvorgang	62
4.4.1	Druckparameter und Einrichtung	62
4.4.1.1	Siebdruckformdistanz.....	63
4.4.1.2	Druck rakelgeschwindigkeit	64
4.4.1.3	Druck rakeldruck	64
4.4.1.4	Druck rakelwinkel und Druck rakel diagonalwinkel	64
4.4.2	Die Rakel	64
4.4.2.1	Die Vorrakel	64
4.4.2.2	Die Druck rakel.....	65
4.5	Schablonendruck (Stencil Printing)	66
4.6	Siebdruck von Solarzellen und Teststrukturen.....	67
4.7	Innovative Siebdrucktechnologien für den Solarzellendruck.....	67

4.7.1	Rotationssiebdruck	67
4.7.2	Hermetische Druckkopfsysteme	69
4.7.2.1	Hermetic Printhead.....	70
4.7.2.2	Rheometric Pump Print Head	71
4.7.2.3	ProFlow DirEKt Imaging™	71
4.7.2.4	CROSSFLOW™	71
5	Gravur Offset – Tampondruck	73
5.1	Geschichte des Tampondruckes.....	74
5.2	Prinzip des Transfer- und Rotationstampondrucks.....	74
5.3	Einsatzgebiete des Tampondruckes als Körperdruck.....	76
5.4	Druckmaschinen.....	76
5.4.1	Antriebskonzept	77
5.4.1.1	Pneumatisch – Hydraulisch	77
5.4.1.2	Elektromechanisch	78
5.4.1.3	Linearantriebe.....	78
5.4.2	Tamponbewegung	78
5.4.3	Offene und geschlossene Rakelsysteme	79
5.4.3.1	Offenes Rakelsystem.....	79
5.4.3.2	Geschlossenes Rakelsystem.....	80
5.4.4	Labortampondruckmaschine TC 175 E	80
5.4.5	Rakel.....	82
5.4.6	Tampon.....	83
5.4.6.1	Materialzusammensetzung.....	84
5.4.6.2	Herstellung	85
5.4.6.3	Form.....	85
5.4.6.4	Größe..	86
5.4.6.5	Härte.....	86
5.4.6.6	Oberfläche.....	87
5.4.6.7	Pflege und Lagerung	91
5.4.6.8	Tamponempfehlungen für den Druck von Solarzellen	91
5.5	Druckvorlagen	92
5.6	Raster.....	92
5.6.1	Flächendeckung (Rastertonwert).....	93
5.6.2	Rasterweite	93
5.7	Kopiervorlage	94
5.8	Klischee.....	94

5.8.1	Klischeearten.....	95
5.8.1.1	Photopolymerklischee	95
5.8.1.2	Stahlklischee.....	96
5.8.1.3	Bandstahlklischee.....	96
5.8.1.4	Sonderklischeematerialien.....	97
5.8.2	Belichtung und Entwicklung von Photopolymerklischees	97
5.8.2.1	Belichter	97
5.8.2.2	Auswascher	98
5.8.2.3	Photopolymerklischeeherstellung	99
5.8.2.4	Belichtungstests von alkoholauswaschbaren Photopolymerklischees.....	101
5.8.3	Laserklischee	103
5.9	Pasten.....	104
5.10	Laborbedingungen.....	104
5.11	Druckversuche.....	104
5.12	Rotationstampondruck.....	108
6	Druckpasten und -tinten	110
6.1	Metallisierungspasten.....	110
6.1.1	Lösemittelhaltige Metallisierungspasten	112
6.1.1.1	Metallpulver	112
6.1.1.2	Glasfritte	114
6.1.1.3	Bindemittel.....	115
6.1.1.4	Lösemittel bzw. Verdünnungsmittel	116
6.1.1.5	Hilfsmittel/Additive	117
6.1.1.6	Herstellung von lösemittelhaltigen Metallisierungspasten.....	118
6.1.1.7	Massen- und Volumenprozentage von Metallisierungspasten und Farben	119
6.1.2	Semithermoplastische Metallisierungspasten	120
6.1.3	UV-härtende Metallisierungspasten	121
6.2	Pastenuntersuchungen.....	121
6.2.1	REM und EDX	122
6.2.2	GDMS.....	124
6.2.3	Kornfeinheit	125
6.2.4	Zügigkeit.....	126
6.2.5	Pastenrheologie	128
6.2.5.1	Definitionen und Grundlagen der Rheologie	130
6.2.5.2	Geschwindigkeitsgefälle beim Siebdruckprozess	133

6.2.5.3	Simulation des Transfertampondruckprozesses mit einem Oszillationsrheometer.....	135
6.2.5.4	Auswertung der Simulation des Transfertampondruckprozesses.....	140
6.2.6	Bestimmung der Trockenzeit	142
6.2.7	Profilometrische Messungen.....	143
6.2.8	Thermische Analyse (TA) der Pasten	143
6.2.8.1	Thermogravimetrie	144
6.2.8.2	Wärmestrom-Kalorimetrie (DSC).....	144
6.2.9	Haftfestigkeit der Paste auf dem Bedruckstoff vor und nach dem Sintern	146
7	Druckweiterverarbeitung	147
7.1	Trocknen.....	147
7.1.1	Konvektionstrocknungsöfen	148
7.1.2	IR-Trocknungsöfen	148
7.1.3	Hot-Plate-Trocknungsöfen.....	148
7.1.4	IR-Zwangskonvektionstrocknungsöfen.....	149
7.1.5	UV-Trocknung (-Härtung)	149
7.1.6	Innovative VSIR-Trocknung für schnelle Rotationsdruckverfahren.....	150
7.2	Sintern – Einlegieren	152
7.2.1	Widerstandsbeheizter Quarzrohrföfen	152
7.2.2	Durchlauföfen.....	153
7.2.3	Rapid Thermal Processing.....	154
7.2.3.1	RTP-Anlage	155
7.2.3.2	RTP-Prozessschema	156
7.2.3.3	Temperaturhomogenität	157
7.2.3.4	Photophysikalische Prozesse beim Sintern	158
8	Solarzellen und elektrische Charakterisierung	160
8.1	Verlustmechanismen bei Solarzellen	160
8.1.1	Optische Verluste.....	160
8.1.2	Ohmsche Verluste.....	161
8.1.2.1	Schottky-Kontakt	162
8.1.2.2	Ohmscher Metall-Halbleiter-Kontakt	163
8.1.2.3	Spezifischer Kontaktwiderstand von gesinterten Metallisierungspasten	163
8.1.2.4	Spezifischer Widerstand von gesinterten Metallisierungspasten	165
8.2	Ergebnisse der Pasten- und Sinteruntersuchungen	167
8.2.1	Spezifischer Widerstand der Vorderseitenmetallisierung	167
8.2.2	Spezifischer Kontaktwiderstand der Vorderseitenmetallisierung.....	169

8.2.3	Sinteruntersuchungen an Solarzellen	171
8.3	Solarzellenergebnisse	173
9	Zusammenfassung	175
A	Herleitung Geschwindigkeitsgefälle für eine runde Siebmasche.....	178
A.1	Reibungskräfte	178
A.2	Druckkräfte.....	179
A.3	Volumenstrom in Kapillare.....	179
A.4	Geschwindigkeitsgefälle für eine runde Siebmasche.....	180
A.5	Korrektur des Rohrgeschwindigkeit bei viskoelastischen Substanzen	180
B	Konfokales Laser-Scanningmikroskop	182
C	Statistische Versuchsplanung (SVP).....	183
D	Literaturverzeichnis.....	184 – 197
	Verzeichnis der Symbole.....	198
	Verzeichnis der Abkürzungen.....	200
	Inserentenverzeichnis	202
	Inserenten	202 – 214