

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
1 Einleitung	1
2 Theorie und Methoden	7
2.1 Aufbau und Funktion eines SiPM	7
2.2 Quasi-statisches Verhalten von SiPM	12
2.2.1 Sperrrichtung	13
2.2.2 Durchlassrichtung	15
2.3 Kapazität der Mikrozellen	15
2.4 Signalform eines SiPM	16
2.5 Überspannungsabhängige Vervielfachung von Photoelektronen	19
2.6 Dunkelzählrate	21
2.7 Optisches Übersprechen	25
2.8 Afterpulse Wahrscheinlichkeit	27
2.9 Einzel-Photonen-Zeitauflösung	31
2.9.1 Messung und Analyse digitalisierter Signalformen	32
2.9.2 Analyse der Signalformen mit Analog-Elektronik	33
2.10 Transit-Zeit-Differenz	37
2.11 Zeitauflösung und Energieauflösung mit Szintillator und radioaktiver Quelle	38
2.11.1 Energieauflösung	40
2.11.2 Koinzidenz-Zeitauflösung	41
2.12 Absolute Photonen-Nachweis-Effizienz	42
2.13 Spektrale Empfindlichkeit	46
2.13.1 Messung der spektralen Leistung der Lichtquelle	48
2.13.2 Kontrolle des Messverfahrens mit bekanntem Referenzdetektoren . .	51
2.13.3 Messung der spektralen Empfindlichkeit von SiPM	53

3	Verifizierung der Messverfahren für das Zeitverhalten von SiPM	55
3.1	Vergleich verschiedener Vorverstärkerkonzepte	55
3.1.1	Beschreibung der verwendeten Vorverstärker	56
3.1.2	Vergleich der Vorverstärkerkonzepte hinsichtlich SPTR	57
3.2	Untersuchungen zur Genauigkeit der SPTR-Messverfahren	60
3.2.1	Untersuchung der Auflösungsgrenze bei der Analyse digitalisierter Pulsformen	61
3.2.2	Untersuchung der Auflösungsgrenze bei der Analyse der Pulsform mit Diskriminatoren und Koinzidenzschaltung	64
3.2.3	Vergleich der beiden SPTR-Messverfahren	68
3.3	Untersuchung der Messgenauigkeit der Transit-Zeit-Differenz-Messung . . .	70
4	Systematische Untersuchung der Zeitauflösung verschiedener SiPM	75
4.1	Vergleich verschiedener Signalfade	76
4.2	Quantifizierung der Abhängigkeit zwischen SPTR und Detektorfläche . . .	78
4.3	Transit-Zeit-Differenz-Messungen zur Analyse von Signallaufzeiten	81
4.3.1	TTD-Messungen an SiPM mit $3 \times 3 \text{ mm}^2$ aktiver Fläche	81
4.3.2	TTD-Messungen an SiPM mit $1.2 \times 1.2 \text{ mm}^2$ und $6 \times 6 \text{ mm}^2$ aktiver Fläche	87
4.4	Messung der Zeitauflösung mit verschiedenen Anschlusskonfigurationen . .	89
5	Simulation der Signalform und Transit-Zeit-Differenz von SiPM	95
5.1	Grundlage des Simulationsmodells	95
5.2	Simulation der SiPM ohne optischer Barriere	97
5.3	Simulation der SiPM mit optischer Barriere	101
5.3.1	Skalierung des Simulationsmodells für SiPM mit verschiedener ak- tiver Fläche	110
5.3.2	Untersuchung der parasitären Leitungsparameter und deren Einfluss	113
6	Optimierung des Zeitverhaltens von SiPM	117
6.1	Untersuchung verschiedener Anschlusskonfigurationen mit Hilfe des Simu- lationsmodells und Vergleich mit TTD-Messungen	117
6.2	Modifikation der Passivierungsschichtdicke zur Reduktion der TTD	119
6.3	Modifikation des Leiterbahnwiderstandes	126
6.4	Auswirkung technologischer Modifikationen in Kombination mit verschie- denen Leiterbahnlayouts auf das Zeitverhalten	133
6.5	Vergleich der modifizierten SiPM hinsichtlich SPTR	136
6.6	Vergleich der Ergebnisse mit anderen Herstellern	138

6.7	Aufführung weiterer technischer Optimierungsmöglichkeiten	142
7	Diskussion und Ausblick	145
	Literatur	151
	Abkürzungen	165
	Formelzeichen	167
	Literatur	169
	Danksagung	185