

Dipl.-Ing. Stefan Wannenmacher, Ostelheim

# **Untersuchung und Aufbau praseodymdotierter optischer Faserverstärker**

Reihe **10**: Informatik/  
Kommunikationstechnik Nr. **466**

# Inhalt

Formelzeichen und Abkürzungen .....	VIII
1 Einführung .....	1
2 Beschreibung des PDFA .....	4
2.1 Änderung der Besetzungsdichten des laseraktiven Stoffes .....	8
2.1.1 Stimulierter strahlender und Strahlung absorbierender Übergang .....	9
2.1.2 Spontane strahlende Emission .....	11
2.1.3 Spontaner nichtstrahlender Übergang .....	11
2.1.4 Paarbildung .....	13
2.2 Änderung der Lichtleistungen in der dotierten Faser .....	15
2.2.1 Stimulierte Emission und Absorption .....	15
2.2.2 Spontane strahlende Emission .....	16
2.2.3 Fasergrunddämpfung .....	18
2.2.4 Änderung der Lichtleistungen .....	18
2.2.5 Intensitätsverteilung, Feldradius und Überlappungsintegral .....	19
2.3 Energieniveauschema von Praseodym .....	23
2.4 Simulationsgleichungen des PDFA .....	27
2.5 Das Simulationssystem .....	32
2.6 Das Experimentalsystem .....	36
3 Stationäre Eigenschaften des PDFA .....	41
3.1 Die Simulationsparameter .....	41
3.1.1 Faserdaten .....	41
3.1.2 Lebensdauern und Aufwärtsmischung .....	41
3.1.3 Wirkungsquerschnitte .....	42
3.2 Meßaufbau .....	43
3.3 Messungen und Simulationsergebnisse .....	44
3.3.1 Absorption aus dem Grundzustand .....	45
3.3.2 Signalverstärkung .....	46
3.3.3 ASE-Spektrum, Strahlausbreitung und Besetzungsdichten .....	51

3.4 Optimierung des Verstärkers .....	54
3.4.1 Optimale Länge der dotierten Faser .....	54
3.4.2 Unterschiedliche Verstärkerkonfigurationen .....	56
3.4.3 Eine neue Verstärkerkonfiguration.....	62
3.4.4 Neue Glaszusammensetzungen .....	63
4 Dynamische Eigenschaften des PDFA .....	66
4.1 Erste Abschätzung .....	66
4.2 Messung und Simulation .....	69
4.3 Verstärkungsmodulation in WDM-Systemen .....	70
4.4 Verstärkungsmodulation bei analoger Übertragung .....	73
5 Nichtlineare Verzerrungen durch den PDFA .....	77
5.1 Vereinfachtes Modell .....	77
5.2 Reduzierung der nichtlinearen Verzerrungen durch den PDFA .....	83
5.3 Nichtlineare Verzerrungen durch FM-AM-Konversion aufgrund von Reflexionen .....	86
6 Rauschen des PDFA .....	91
6.1 Kohärente Signalverstärkung .....	93
6.1.1 Ein Eingangsphoton.....	93
6.1.2 Kohärentes Eingangssignal .....	98
6.2 Verstärkte spontane Emission (ASE) .....	103
6.3 Rauschstatistik des PDFA .....	105
6.4 Kaskadierung von Verstärkern .....	107
6.5 Rauschstatistik der Photoelektronen .....	112
6.6 Eine Näherung: Kontinuierlicher Photostrom .....	114
6.7 Eine weitere Näherung: Gaußförmiges Verstärkerrauschen .....	119
6.8 Schrittfehlerwahrscheinlichkeit digitaler Übertragungssysteme mit der exakten Statistik und den beiden Näherungen .....	122
7 Anwendungen des PDFA .....	126
7.1 Beschreibung der Systemkomponenten .....	126
7.2 Kaskadierung von PDFAs .....	128
7.3 Maximal überbrückbare Entfernung ohne Zwischenverstärker .....	131
7.4 Empfindlichkeit eines Empfängers mit Empfangsverstärker .....	134

8 Zusammenfassung .....	136
9 Anhang .....	141
9.1 Lineare Differentialgleichung 1. Ordnung .....	141
9.2 Quasistationäre Übertragungsfunktion .....	142
9.3 Differentialgleichung der erzeugenden Funktion der Photonen- verteilung am Verstärkerausgang bei einem Eingangsphoton .....	148
9.4 Quantengrenze der Rauschzahl .....	149
9.5 Charakteristische Funktion des Empfängersignals .....	149
Literaturverzeichnis .....	154