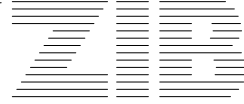


Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin
Heilbronner Str. 10, D-10711 Berlin - Wilmersdorf



P. Deuffhard, T. Friese, F. Schmidt, R. März, H.-P. Nolting

Effiziente Eigenmodenberechnung für den Entwurf integriert-optischer Chips

Table of Contents

1	Einleitung	1
2	Problemstellung	3
	2.1 Technologische Grundlagen	3
	2.2 Mathematisches Modell	4
3	Diskussion adaptiver Mehrgittermethoden	6
4	Simulation einer Kopplerstruktur	11

Effiziente Eigenmodenberechnung für den Entwurf integriert-optischer Chips

P. Deuffhard¹, T. Friese¹, F. Schmidt¹ und R. März², H.-P. Nolting³

¹ Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin

² SIEMENS AG München

³ Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH

Efficient eigenmode computation for the design of integrated optical chips. The paper deals with adaptive multigrid methods for 2D Helmholtz eigenvalue problems arising in the design of integrated optical chips. Typical features of the technological problem are its geometric complexity, its multiscale structure, the possible occurrence of eigenvalue clusters, and the necessity of quite stringent required relative error tolerances. For reasons of sheer computational complexity, multigrid methods must be used to solve the discretized eigenvalue problems and adaptive grids must be automatically constructed to avoid an undesirable blow-up of the required number of nodes for these accuracies. In view of the problem specifications, an adaptive multigrid method based on Rayleigh quotient minimization, simultaneous eigenspace iteration, and conjugate gradient method as smoother is carefully selected. Its performance in the numerical simulation of a component of a rather recent optical chip (heterodyne receiver of HHI) is documented.

1 Einleitung

Die bekannteste und wichtigste Komponente der modernen optischen Nachrichtentechnik ist die Glasfaser. Heutzutage werden nahezu alle globalen Nachrichtennetze und sogar viele lokale Netze auf Glasfaser-Basis aufgebaut. Diese bieten gegenüber dem konventionellen Kupferkabel viele technische Vorteile, vor allem die kleineren Dämpfungsverluste (kleiner als 0.5 dB/km) und die höhere Übertragungsbandbreite, von deren physikalischer Grenze im 1000 GBit/s-Bereich in heutigen Netzen etwa 2.5–10 GBit/s genutzt werden.

Anfang der 70er Jahre entstand die Idee, die Vorteile der optischen Signalübertragung mit dem großen Potential einer rein optischen Signalverarbeitung zu verbinden. Dem Vorbild elektronischer Halbleiterbauelemente folgend, sollten sowohl aktive als auch passive optische Komponenten gemeinsam auf einem Chip integriert werden.

Bis heute jedoch sind solche weitgehenden Konzeptionen nicht realisiert worden. Dafür gibt es im wesentlichen zwei Ursachen. Zum einen sind die rein elektrischen Realisierungen immer besser geworden, so daß sie den steigenden

Ansprüchen der Anwender durchaus genügen konnten, zum anderen taten sich erhebliche, vorher unterschätzte Schwierigkeiten in der planaren Herstellungstechnologie auf. Diese basiert nicht auf dem bekannten Silizium, sondern auf dem weniger erforschten Materialsystem $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}/\text{InP}$. Nachdem aber im letzten Jahrzehnt wesentliche technische Probleme gelöst werden konnten, erhält die Idee des integriert-optischen Chips neue Bedeutung und einige Experten erwarten einen Durchbruch in naher Zukunft ('Fiber to the Home').

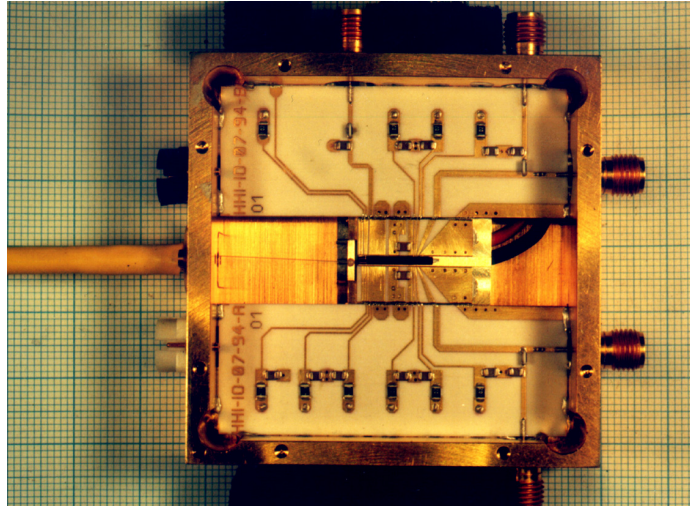


Fig. 1. Montierter optischer Chip des HHI, Frühjahr 1995 (siehe Farbtafeln im Anhang)

Neben der Lösung der technologischen Probleme stehen die Entwicklung geeigneter physikalischer Modelle und deren numerische Simulation als Hauptaufgaben der aktuellen Forschung im Vordergrund. Prinzipiell wäre es wünschenswert, das gesamte Design mit einem einzigen Simulationswerkzeug durchzuführen, aufgrund der extremen Komplexität des Problems ist man davon allerdings heute noch weit entfernt. Eine entscheidende Voraussetzung für den Entwurf von Kopplern, Schaltern, Modulatoren usw. ist die Kenntnis der niedrigsten Eigenlösungen der in der Komponente verwendeten Wellenleiter. Innerhalb der Vielfalt der optischen Komponenten gibt es solche mit sehr einfacher Geometrie, wie z. B. die Stufenindex-Faser, und solche mit sehr komplexer Geometrie, wie z. B. manche Arten von Multi-Quantum-Well-Schaltern. Es ist das Ziel dieser Arbeit, Prinzipien und Anwendung von adaptiven Mehrgittermethoden auf die entstehenden Multiskalen-Probleme zu demonstrieren. Die entwickelten Algorithmen sind erste Bausteine für ein zu schaffendes universelles Simulationswerkzeug für die integrierte Optik.

2 Problemstellung

2.1 Technologische Grundlagen

Das typische Vorgehen beim Entwurf eines integriert-optischen Chips soll am Überlagerungsempfänger des HHI dargestellt werden, der gegenwärtig die Komponente mit der weltweit höchsten technologischen und funktionellen Komplexität darstellt. Fig. 1 zeigt ein Foto des fertig im Gehäuse montierten Schaltkreises. Auf der linken Seite führt eine Glasfaser die vom Sender stammenden optischen Signale zum Chip. Diese Faser kann aufgrund ihrer sehr großen Bandbreite viele, spektral dicht benachbarte Kanäle gleichzeitig übertragen. Die Aufgabe des Überlagerungsempfängers besteht nun darin, einen gewünschten Kanal herauszufiltern und in ein elektrisches Signal umzuwandeln, das dann direkt z. B. in Fernsehempfängern verwendet werden kann. In Fig. 1 ist dieser elektrische Ausgang auf der rechten Seite des Chips zu sehen. Das Neue am Konzept des integriert-optischen Überlagerungsempfängers ist nun, daß der gesamte Prozeß des Herausfilterns und Nutzbarmachens eines Signals auf rein optischer Basis beruht. In Fig. 2 ist der Aufbau des