

氏名・(本籍)	京 増 幹 雄 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 46 号
学位授与の日付	平成 5 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Si 集積化光センサの機能設計に関する研究

論文審査委員	(委員長)
	教授 助 川 徳 三
	教授 水 品 静 夫 教授 池 田 弘 明
	教授 柿 元 章 教授 安 藤 隆 男

論 文 内 容 の 要 旨

Si 集積化光センサは光を媒体として対象とする測定系から各種の光情報を受け、センサ内で演算処理を行い、必要な情報に変換して出力する機能を有する素子で、その応用に用いられるホトダイオードおよび集積回路の動作速度の向上と光情報処理の高機能化が強く要求されている。

本研究は受光素子の動作速度の向上、および、光学設計と回路設計の最適化による演算機能の向上、の二つの方法によるセンサの高機能化について研究したものである。

本論では、まず、集積化 PN ホトダイオードと測定対象物との間の素子形状、光学設計の最適化、その結果得られた光信号に適した演算回路技術の確立を行っている。

次に、集積化 PN ホトダイオードの限界を打破する素子として集積化 PIN ホトダイオードを検討し、その実現に P⁻/P⁺⁺エピタキシャルウエハを開発し、これを用いて PIN ホトダイオードと高速バイポーラの複合化を行い、各種センサに応用した。

本論では、まず、第 2 章で集積化 PN ホトダイオードの諸特性を概観することで従来の集積化光センサの性能限界を知り、第 3 章で、この性能限界を打開する集積化 PIN ホトダイオード開発と得られた諸特性について述べ、第 4 章と第 5 章でそれらを応用した集積化光センサについて研究している。

本論の各章は次のような内容である。

第 2 章では、集積化 PN ホトダイオードセンサの機能限界について述べる。このセンサはホトダイオードと集積回路を同一基板内に同一工程で形成しているため、集積化による各種利点を有しているものの、その製造工程によりもたらされる制約により、分光感度特性、遮断周波数、動作速度に限界を有することになる。本章では、その詳細について述べる。

第3章では第2章で述べた集積化PNホトダイオードの性能を制限している要因を取り除いた素子として集積化PINホトダイオードセンサを開発するため、素子構造、製造技術の確立を行い、試作で得られた素子の評価を行い、性能限界が開けてきたことを確認した。

開発した集積化PINホトダイオードセンサは、高濃度P⁺基板に非常に低濃度エピタキシャル層を形成し、集積回路の形成部にはP-ウェル層とN⁺埋め込み層を形成し、この上にNエピタキシャル層を形成することでPIN構造を得ると同時に高速ポリシリコンエミッタバイポーラトランジスタを形成している。試作結果では、ホトダイオードの遮断周波数として10Vバイアス時、670MHzが得られ、単体と遜色無い特性が集積化光センサで得られている。

第4章では、高機能化の一つのアプローチである光学設計と回路設計の最適化を行った結果得られた応用回路例を示している。

最適設定として検討した課題は、光学的プッシュプル回路の位置分解能誤差の向上、光センサに最適な外光電流補償方法、対数圧縮回路の演算誤差の圧縮方法、および、電荷増幅回路の高感度化である。

この研究から得られた成果をリニアエンコーダ、変調型ホトIC、オートホワイトバランスコントロールセンサ、および、MOSイメージセンサに応用した。

第5章では、高機能のもう一つのアプローチである集積化ホトダイオードの性能向上に基づく高機能化の研究を行っている。

第3章で示した集積化PINホトダイオードを用い、高速動作を要求されているセンサへの応用を検討した。具体的応用例として、50Mb/sの高速動作する簡易型中高速光リンク、ゲートアレー型TZアンプセンサ、および、2線式光電スイッチ用ホトICの開発を行い、良好な結果が得られている。

以上、述べてきたようにSi集積光センサは集積化ホトダイオードの形状の最適化、光学設計と回路設計との最適設計による性能向上、さらにはホトダイオードそのものの性能向上により、センサの高機能化が達成される。

また、これまで、集積化光センサは単体に比較して低速動作することはいたしかた無いと思われていたが、本研究により集積化センサにおいても単体と遜色無い性能が出せることを示している。

論文審査結果の要旨

本研究は、光計測や光情報処理に不可欠である Si 集積化光センサの高性能化、高機能化ならびに応用分野の拡大を目的としてなされた。まず、受光素子である PN 接合ホトダイオード（以下 PN-PD と略称する）と信号処理をする演算回路とを一体化した集積化 PN-PD 光センサの高性能化、高機能化に関する研究を行った。つぎに、PIN 接合ホトダイオード（以下 PIN-PD と略称する）と高速バイポーラトランジスタとを複合化して、より高感度でかつ高速応答可能な集積化 PIN-PD 光センサの開発を行った。

集積化光センサの高分解能化に対しては、受光部となる PD と信号処理にあずかる演算回路とで構成した一組の単位要素を高密度に集積化できることが必要である。また高感度化に対しては、PD と演算回路とが同一基板上に集積化されるので、外来雑音が入らないように両者を低インピーダンスで接続できること、外光が演算部に入射するのを防止できること、PD と演算部との間に寄生バイポーラトランジスタが構成されないことが要求される。さらに、高機能化と応用範囲の拡大には、例えば入力光検出用 PD と外光補償用の PD など役割の異なる PD に対して異なる方向で接地できるよう同一基板上に集積化することが不可欠である。

本研究では単位要素の微細化と AI 電極形状の最適化により、低インピーダンスの接続、外光の遮光、静電シールドによる外来雑音の防止を可能にした。さらに新構造のバスタブ型 PD を考案して、寄生トランジスタの発生を防止すると共に、PD のアノード接地およびカソード接地の両者を可能にした。この結果、従来性能限界を打破した高性能の集積化 PN-PD センサが製作できた。

本研究で得られた主要な成果は下記の通りである。(1)リニアインコーダにおいて、単位要素の高密度化により、分解能が従来の 2 倍に向上できた。(2)2 個の PD のうち一方を入射光検出用とし、他方で外乱光を検出して補償することにより、許容外光照度が従来の 10 倍に向上できた。(3)従来困難であったオートホワイトバランスコントロールセンサのモノリシック化を実現すると共に、差分対数圧縮回路の実現により演算誤差を縮小した。(4)PD を入射光駆動による電流源とした電荷増幅型 MOS イメージセンサを開発して、高感度の撮像が可能となった。

高感度、高速度応答が可能な集積化 PIN-PD 光センサを実用化するために、高濃度不純物添加 P⁺基板上に PIN-PD と高速バイポーラトランジスタ演算回路を集積化した。これを簡易型中高速光リンク、トランスインピーダンス増幅器、2 線式光電スイッチ用光 IC に応用して、100MHz で動作する高速の集積化光センサを実現している。

以上述べたごとく、本研究によって Si 集積化光センサの高性能化、高機能化ができたことは電子工業に寄与するところが大きい。審査の結果、本論文は博士（工学）の学位に相当する十分な内容があるものと認定する。