

## 審査結果の要旨

近年、Si と他の半導体材料とを組み合わせ新機能、多機能デバイスを実現しようとする試みが活発化しており、それに伴ってSi 基板上への各種半導体結晶、中でも、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  混晶のヘテロエピタキシャル成長（HEG と略記）に関する研究が盛んになって来ている。しかし、従来、Si 基板上への $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$  結晶膜の HEG に関しては、最も基本的な重要事項である格子不整合の緩和機構、ミスフィット転位の導入されない臨界膜厚の組成依存性、等も明らかではなかった。

筆者は、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$  ヘテロ構造の物性研究やそのデバイス応用の進展を図るには不可欠な、これら重要事項の解明を目的として研究を行ってきた。本論文はその研究の成果を纏めたもので、全文7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、MBE法を用いた $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ の HEG による、組成と膜厚との制御性に関する実験結果を述べている。

第3章では、本ヘテロ構造における格子不整合の緩和機構を解明するために行った、実験的検証の結果を述べている。ここで、ミスフィット転位の導入機構とその種類、又、それらの増殖機構を組成比 $X$ の広い範囲に亘って明確にし、本構造における格子不整合の緩和機構が $X$ に依存して変わる事、等の新知見を得ている事は高く評価される。

第4章では、この構造の HEG における臨界膜厚について実験的に検証した結果を述べ、第5章において、その結果に理論的裏付けを与えている。即ち、臨界膜厚を正確に決定するため、電子流誘起電流法（EBIC法）を用いたミスフィット転位の有無の直接観察により、種々の組成比における臨界膜厚を導出し、これが、従来報告にある実験や理論の結果とは異なる事、及び、従来のものの実験上の問題点や理論の導出モデルの不適切な事を指摘している。そして、第3章の結果に基づいた新しいモデルによる理論解析を行い、自己の実験結果の妥当性を検証している。

第6章では、これ迄の研究成果の実際的应用の一例として、Geを中間層とするGaAs/Si構造の高品質GaAs膜成長について検討した結果を述べている。ここで、高品質Ge中間層を得るため考案した2段階成長法を用いる事により、その上に成長したGaAs膜の転位密度は約 $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ となり、この構造としては従来にない高品質膜を得ているが、これは、デバイス应用到に直結する成果として評価できる。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ の HEG に関し、詳細な実験と理論解析とにより多くの基本的問題を解明すると共に、将来のデバイス应用到に明るい見通しを与える研究成果を纏めたもので、電子工学、半導体工学に寄与することが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。

氏 名	齋 藤 健 次 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年 5 月 10 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 35 年 3 月 東北大学工学部土木工学科卒業
学 位 論 文 題 目	合流式下水道における雨水滞水池の設計手法に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 野池 達也 東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 首藤 伸夫 東北大学教授 澤本 正樹

## 論 文 内 容 要 旨

雨水と汚水を同一の系統で収集し排除する合流式下水道は、元来都市内の排水を目的とした小河川、水路、側溝等を下水道の体系に統合したものであり、下水道の持つ機能のうちの排水の面を重視したものである。

この合流式下水道においては、晴天時下水量の数百倍にも達する雨天時下水のうち一定量を下水処理場へ送り、残余は各所に設けた雨水吐きや雨水ポンプ場から直接放流河川に排除する方法がとられている。

このように雨天時下水を河海へ直接放流することを許容する理由としては、① 汚水量に比べ雨水量の割合が多いため、汚水は希釈され水質的な問題が少なくなる、② 降雨時は放流先水域も増水しており、放流された汚水・雨水の混合下水はさらに希釈される、③ 水域の持つ自浄作用も期待できるという前提によるものであった。

しかし、雨天時下水の場合、降雨初期に降雨ピークとは無関係に浮遊物質が多量に流出し、BOD<sub>5</sub>も一時的に高濃度となる現象が見られる。調査結果によると、瞬時的にはあるが、雨天時下水中の BOD<sub>5</sub> および SS 濃度が各々 600mg/ℓ および 1,800mg/ℓ あるいは 1,200mg/ℓ および 500mg/ℓ になることが知られている。

この現象は一般に降雨時の初期流出と言われ、管きよや汚水ます内に堆積した汚濁物質や管壁の付着物が降雨初期の急激な流量変化により掃流され急激に流出してくるものである。

このような汚濁物質の初期流出に対しては、単なる希釈効果だけでは対応し切れない現状にあり、

対応策としては遮集管きょの容量の増大・遮集方式の改善・管内貯留・雨水滯水池等の設置が考えられている。

このうち、雨水滯水池は、① 雨天時の初期汚濁負荷を貯留することができる、② 貯留効果に加えて、浮遊物の除去も行える構造にすることができる、③ 雨水流出量の調整が可能である、④ 処理場への移送を夜間行うことにより、流出下水量の調整が可能である等の効果があり、わが国においても全国各地において十数箇所の雨水滯水池が建設および設計されている。これら雨水滯水池の設計において、雨水滯水池は、合流式雨天時越流負荷削減の一手法として位置付けられており、遮集容量の増大等の代替案と比較検討され、雨水滯水池の導入の効果が議論されている。

しかしながら、雨水滯水池において、期待される効果としては貯留効果が主であり、汚濁物質の沈殿効果を含めて検討している事例は少ない。

本研究は、最初沈殿池および雨水滯水池における沈殿効果について調査・実験を行い、沈殿効果を加味した雨水滯水池モデルを作成し、新たな雨水滯水池の設計手法の確立を試みたものである。

本論文は、7章から構成されている。

## 第1章 総論

本章では本研究の目的と概要を述べている。

## 第2章 合流式下水道における越流負荷とその対策

本章では合流式下水道の歴史、晴天時および雨天時の水質特性、越流負荷量に関する調査結果を列記し、合流式下水道から排除される雨天時下水を処理する必要性を述べている。また、越流負荷の削減策としての雨水滯水池の有効性を検討している。

## 第3章 雨水滯水池の実態と問題点

本章では、7箇所の雨水滯水池の設計事例を検討し、その問題点を探っている。

この検討の中で雨水滯水池における滯水方式を一時貯留型（雨天時に一時貯留し、晴天時に処理場に返送する考え方）と沈殿放流型（一時貯留だけでなく、雨天時下水を連続的に取り入れ池内での沈殿効果を期待する考え方）に分類した場合、7箇所中5箇所が一時貯留型であり、2箇所が沈殿放流型をも考慮した設計であることが判明した。

しかし、沈殿によるBOD<sub>5</sub>除去率およびSS除去率の考え方についての十分な検討は行われておらず、合流式下水道で雨水滯水池を採用する際には、従来の一時的貯留型に加えて、沈殿放流型の滯水池における沈殿効果について明らかにするとともに沈殿現象のモデル化により汚濁負荷削減量の予測式を確立することの必要性を明らかにした。

## 第4章 雨水滯水池形式の提案

合流式下水道における雨天時未処理放流水対策として種々提案されている方法のうち、雨水滯水池は、① 雨天時合流式下水の一時的貯留、② 雨天時合流式下水の沈殿処理、③ 雨水流出量の調整、

④ 処理場への流入下水量の調整等を行うことにより、雨天時における放流負荷の削減、越流水の水質改善の高を達成するための施設であるが、これまでの事例では、沈殿効果についての十分な検討がなされていない。

本章では雨天時合流式下水の沈殿実験、雨天時合流式下水の粒形別水質特性調査等の結果より、① 雨天時の流量増加初期の下水中の汚濁成分の粒形分布は、流量の増加に伴って、すみやかにより大きな粒形へと移行する。② SS 濃度の高い雨天時合流式下水の場合、下水中の BOD<sub>5</sub> の沈殿除去率は、SS 濃度の低い場合に比べて上昇する。③ 雨水滯水池形式の選定に当たっては、ごく初期の雨天時合流式下水をまず一時貯留し、それ以降の高 SS 濃度の下水を沈殿放流とする形式も検討対象とすべきである、等のことを述べるとともに、雨水滯水池において沈殿による汚泥負荷除去効果を認めることの是非および合理的雨水滯水池形式の提案を行っている。

## 第 5 章 雨天時合流式下水中の汚濁物質の挙動

雨天時合流式下水中の汚濁物質の雨水滯水池および最初沈殿池における挙動に関する報告は、非常に少ない。

合流式下水道における最初沈殿池は、雨天時合流式下水の一部を簡易放流するプロセスとして位置付けられているが、その汚濁物質の沈殿除去機構の解明は十分行われていない。

また、雨水滯水池は、雨天時合流式下水の越流負荷削減対策の主流として位置付けられているが、最初沈殿池と同様に、その汚濁物質の沈殿除去機構の解明は十分に行われていない。

本章では、実際の最初沈殿池および雨水滯水池での雨天時合流式下水中の汚濁物質の挙動について調査し、最初沈殿池および雨水滯水池における雨天時合流式下水中の BOD<sub>5</sub> および SS 成分の沈殿除去特性について検討を行っている。

## 第 6 章 提案雨水滯水池モデルを用いたシミュレーション計算

合流式下水道システムにおける雨天時合流式下水中の汚濁負荷量を把握するためには、まず雨水流出量を計算し、次に雨天時合流式下水中の汚濁負荷量を計算する必要がある。本章では各種の雨水流出予測モデルおよび汚濁負荷流出予測モデルについて説明するとともに、両予測モデルに加えて新たに提案した雨水滯水池における汚濁負荷削減モデルのシミュレーション計算を行い、モデルの検証を行うとともにこのモデルを採用することによって明らかとなる

① 公共用水域への無処理放流量の減少効果

② 総流出汚濁負荷の削減効果

等について検証を行っている。

## 第 7 章 総括および結論

本章では、本論文で得られた成果のまとめを行っている。