

2. プロジェクトの構成

2.1 研究のアプローチとプロジェクトの構成

本研究の目的は半導体結晶、特に III 族窒化物材料において、不均一性と均一性の物理的な現象を理解して、不均一性をコントロールする技術を開発するとともに、それらを実際のデバイスに適用することである。我々は不均一性と関係がある物理的な現象を理解するために不均一結晶を均一な結晶と比較し、その結果を元に更なるデバイスの高性能化を目指す。特に、窒化物結晶中の結晶欠陥、組成不均一性、分極電界の役割に着目した。この目的のために、我々はこのプロジェクトの一方で欠陥の非常に少ない均一な結晶を作るとともに、他方で意図的に不均一結晶を作る。ここで言う結晶不均一性は、組成的不均一性、キャリアの不均一分布、構造的不均一性、大きさ不均一性、結晶異方性、不純物など、広い意味での不均一性を意味する。

我々は不均一結晶を均一な結晶と比較して、そして不均一性の制御技術を確立するために、バルク結晶成長技術を研究し、開発することによって均一な結晶基板を作る。GaN を主な研究材料として選ぶことによって、我々は従来の半導体結晶で研究されることができなかった広いバンドギャップのウルツ鉱型半導体結晶に関係する種々の効果を理解することを目指す。

このプロジェクトは前述の概念に基づいて下記の 3 つの研究グループを設置する：

- (1) 不均一結晶バルクグループ
- (2) 不均一結晶薄膜グループ
- (3) 不均一結晶評価グループ

バルクグループの主な目的は均一な結晶を得る成長法を研究し開発することである。低欠陥密度のバルク結晶の成長が、このプロジェクトの最も重要なゴールの 1 つである。なぜなら、i) 均一な、標準的な結晶が不均一結晶を評価するために不可欠である、ii) 低転位結晶がサファイヤのような異種基板の上に現在成長されている種々のデバイスの特性を改善する、iii) 均一な結晶が不均一性を人工的にコントロールするための「ベース」として必要である。我々はバルク単結晶を得るために、アンモノサーマル法、フラックス法、昇華法などのいくつかの方法を試みた、そして厚い自立した基板を得るためにハイドライド気相成長法 (HVPE) も検討した。

薄膜グループではヘテロエピタキシャル基板、そしてホモエピタキシャル基板上に不均一結晶を成長し、デバイスを作製した。成長膜とデバイスの評価を通して不均一性と関係がある物理現象の理解を深めた。さらに不均一結晶の理解に基づいて、我々はデバイスの高性能化を目指した。また結晶成長プロセスを理論的な計算によって解析し、不均一性の制御に必要なプロセス技術の確立を目指した。

評価グループは不均一結晶と均一結晶の主に光学遷移プロセスについての知見を得ることを目的とした。さらに評価グループではデバイス構造に知見をリンクすることを目標とした。評価グループの仕事は理論的な予想、実際の測定とデータの分析から成り立つ。

上記ミッションを考慮して、「不均一結晶バルクグループ」は UCSB (カリフォルニア大学、Santa Barbara) に置き、「不均一結晶薄膜グループ」は UCSB と東京理科大学に置き、「不均一結晶評価グループ」は筑波大学に置いた。これらの 3 つのグループはこのプロジェクトのミッションを達成するために緊密に連携をして研究を遂行した。

それぞれのグループの主なメンバーは下記である：

- (1) 不均一結晶バルクグループ

グループリーダー：Dr. James S. Speck

研究者：Dr. Tadao Hashimoto

(2) 不均一結晶薄膜グループ

グループリーダー：Dr. Kazuhiro Ohkawa

研究者：Dr. Paul T. Fini, Dr. Feng Wu, Dr. Katsushi Fujii

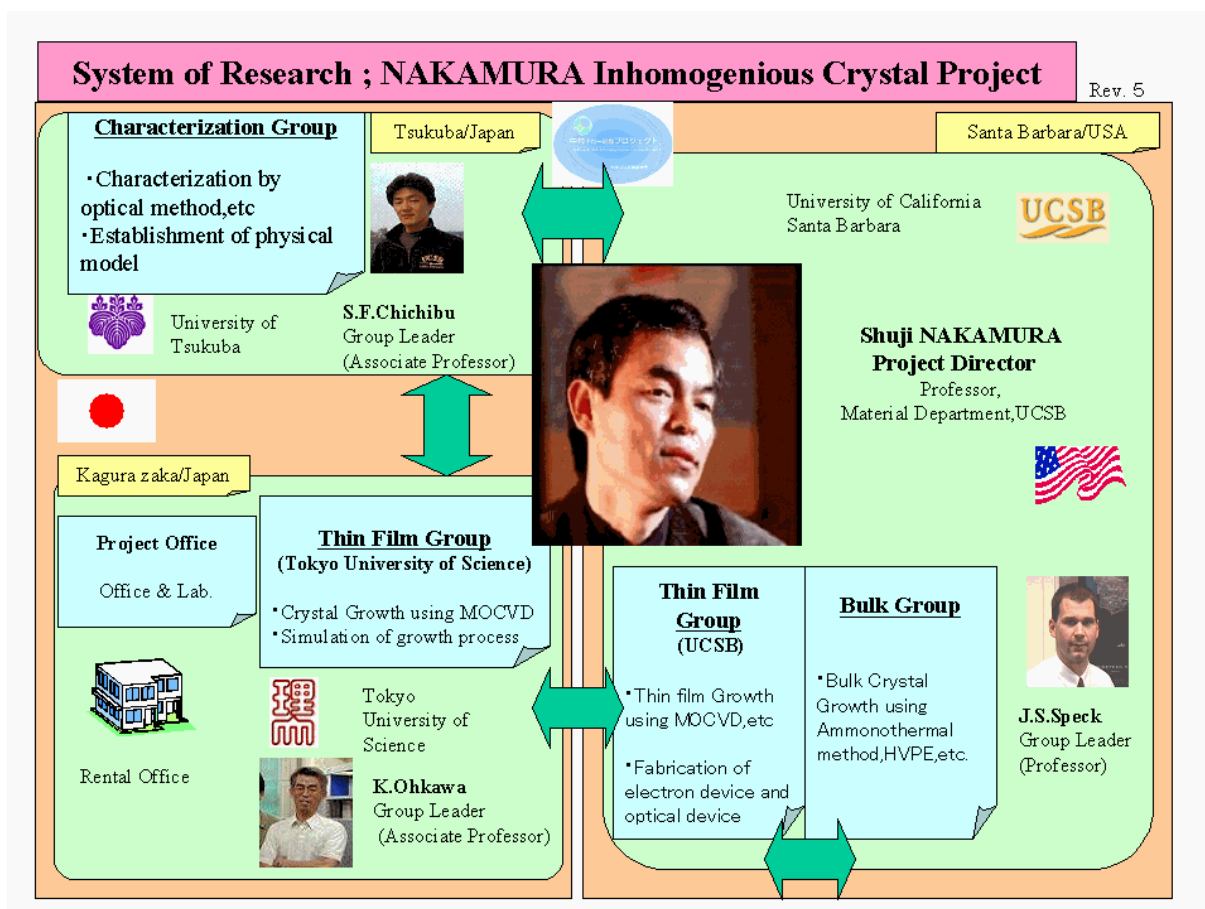
(UCSB の薄膜グループは MOCVD と MBE による成長、デバイス製作と評価に取り組む)

(東京理科大学の薄膜グループは MOCVD 成長プロセスのシミュレーション、シミュレートされた結果と照合のための実際の成長、成長された結晶の熱的安定性の研究と成長された結晶の応用に取り組む)

(3) 不均一結晶評価グループ

グループリーダー：Dr. Shigefusa Chichibu

研究者：Dr. Takeyoshi Onuma



2.2 研究組織

(1) 総括責任者

なかむら しゅうじ
中村 修二

現職：カリフォルニア大学サンタバーバラ校(UCSB)
材料物性工学科教授（2000年～）

略歴：徳島大学工学部修士課程 1978年度終了
(株)日亜化学 (1979-1999)

1994年 工学博士

受賞：仁科記念賞 (1996)、
米国 IEEE/LEOS エンジニアリングアチーブメント賞(1996)、
MRS メダル賞(1997)、大河内記念賞 (1997)、C&C 賞(1998)、英国ランク賞(1998)、
IEEE ジャック・モートン賞(1999)、本田賞 (2000)、カールツアイス研究賞(2000)
朝日賞(2001)、OSA ニック・ホロンヤック賞(2001)、
IEEE 量子エレクトロニクス賞(2001)、 フランクリン・メダル (2002)、
武田賞 (2003)、 米国技術アカデミー外国準会員(2003)
SID カールフェルナンドブラウン賞(2004)、 ミレニアム技術賞(2006)



(2) 技術参事、事務参事、研究員、事務員

(H18年10月1日現在)

(i) 飯田橋事務所

氏名	最終学歴	参加期間
(技術参事) 坂田 雅昭	愛媛大学文理学部理学科、67年度卒	04.4.1～
(事務参事) 星 昭一	明治学院大学経済学部経済学科、65年度卒	01.8.1～
(事務員) 三浦 真帆	東邦大学理学部物理学科、94年度卒	01.8.1～

(ii) UCSB 実施場所

氏名	最終学歴	派遣元機関	参加期間	現職
(バルク G・GL) James S. Speck	MIT 工学部材料工学科博士課程 00年卒、理学博士	UCSB	01.10.1～	教授
(バルク G) 橋本 忠朗	UCSB 工学部材料工学科博士課程、 05年度卒 工学博士		01.10.1～	研究員
(バルク G) Troy J. Baker	UCSB 工学部材料工学科博士課程、 06年度卒 工学博士	UCSB	02.06.1～	研究員
(バルク G) 斉藤 真	東京工業大学 総合理工学研究科 エネルギー科学専攻修士課程 91 年度卒	三菱化学	05.3.1～	協力 研究員
(薄膜 G) Feng Wu	中央鉄鋼研究所(北京)博士課程、 97年卒、工学博士		01.12.1～	研究員

(iii) 東京理科大学(+飯田橋事務所)実施場所

氏名	最終学歴	派遣元機関	参加期間	現職
(薄膜 G・GL) 大川 和宏 おおかわ かずひろ	東京大学理学系研究科相関理化学 修士課程、84年度卒、理学博士	東京理科大 学	02.10.1～	助教授
(薄膜 G) 小川 洋子 おがわ ひろこ	東京理科大学大学院理学研究科物 理学専攻平成15年修士課程修了		06.4.1～	技術員

(iv) 筑波大学実施場所

氏名	最終学歴	派遣元機関	参加期間	現職
(評価 G・GL) 秩父 重英 ちちぶ しげふさ	慶応義塾大学工学研究科博士課 程、93年度卒、工学博士	筑波大学	01.10.1～	助教授
(評価 G) 尾沼 猛儀 おぬま たけよし	筑波大学工学研究科博士課程、03 年度卒、工学博士		04.4.1～	研究員
(評価 G) 小山 享宏 こやま たかひろ	筑波大学大学院博士課程数理物質 科学研究科、04年度卒、工学博士		05.4.1～	研究員

(v) 研究顧問、研究推進委員

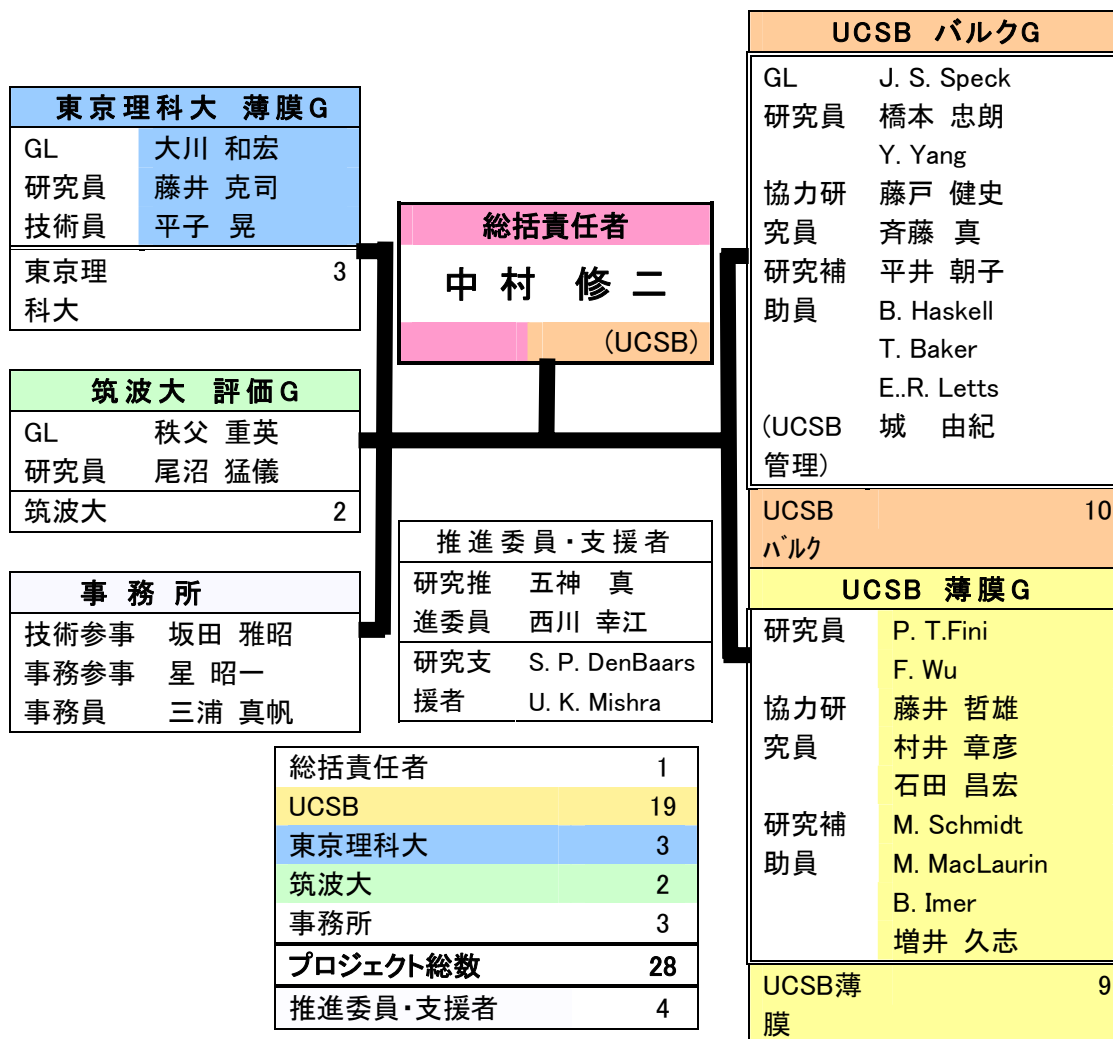
氏名	最終学歴	派遣元機関	参加期間	現職
(研究推進委員) 藤井 克司 ふじい かつし	大阪大学基礎工学部物性物理工 学科、82年度卒、理学博士	東北大学学 際科学国際 高等研究セ ンター	06.4.21～	客員助 教授
(研究推進委員) 五神 真 ごのかみ まこと	東京大学理学系研究科博士課程 中退、83年度 理学博士	東京大学	02.10.1～	教授
(研究推進委員) 西川 幸江 にしがわ ゆきえ	慶応義塾大学工学研究科修士課 程、85年度卒 工学博士	東芝	03.6.1～	研究主 務
(研究支援者) Steevn P. DenBaars	南カリフォルニア大学電気工学 博士課程、88年卒、理学博士	UCSB	01.10.1～	教授
(研究支援者) Umesh K. Mishra	コーネル大学電気工学博士課 程、84年卒、理学博士	UCSB	01.10.1～	教授

(vi) 移動・退任

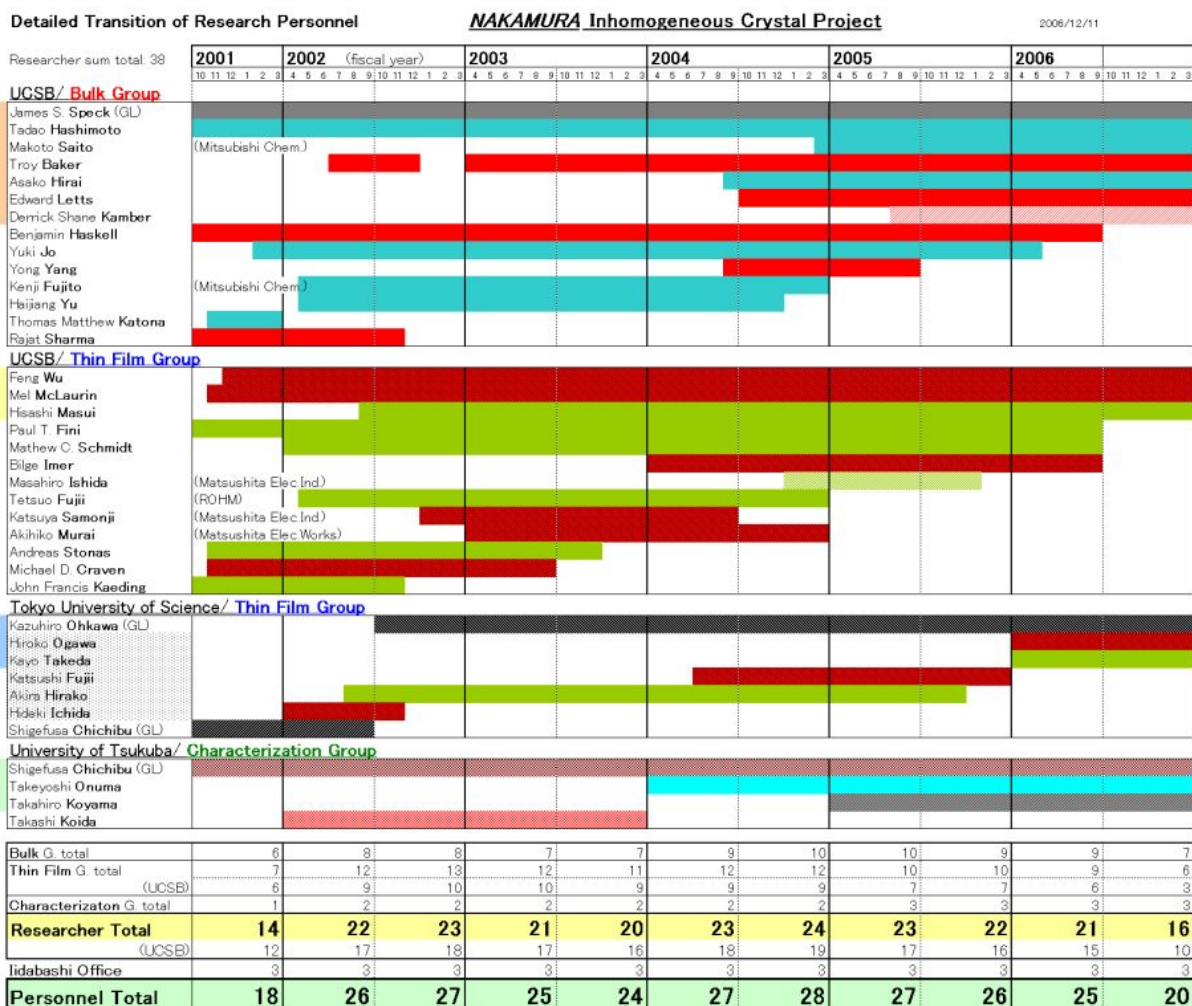
氏名	最終学歴	派遣元機 関	参加期間	現職
(技術参事) 皆川 重量 みながわ しげかず	東北大学理学部化学科、59年度 卒、理学博士		01.9.1 ～04.3.31	故人
(薄膜 GL(兼務)) 秩父 重英 ちちぶ しげふさ	慶応義塾大学工学研究科博士課 程、93年度卒、工学博士	筑波大学	01.10.1 ～02.9.30	助教授
(薄膜 G) 市田 秀樹 いちだ ひでき	大阪市立大学 応用物理学専攻博 士課程、01年度卒、工学博士		02.4.1 ～02.11.30	大阪大 学 VBL
(評価 G) 鯉田 崇 こいだ たかし	東京工業大学 物質科学創造専攻 博士課程、01年度卒、理学博士		02.4.1 ～04.3.31	研究員
(研究推進委員) 大川 和宏 おおかわ かずひろ	東京大学理学系研究科相関理化学 修士課程、84年度卒、理学博士	東京理科 大	01.10.15 ～02.9.30	助教授
(パルク G) 藤戸 健史 ふじと けんじ	東京工業大学 総合理工学研究科 材料工学専攻修士課程 93年度卒	三菱化学	02.5.21 ～05.3.31	協力 研究員

(薄膜 G) 藤井 哲雄 ふじい てつお	筑波大学理工学研究科 理工学専攻修士課程、98年度卒	ローム	02.5.15 ～05.3.31	協力 研究員
(薄膜 G) 左文字 克哉 さもんじょう かつや	豊橋技術科学大学 工学研究科電 子・情報工学専攻博士課程、98年 度卒、工学博士	松下電器	03.1.1 ～04.9.30	協力 研究員
(薄膜 G) 村井 章彦 むらい あきひこ	東北大学 電気・通信工学専攻博 士課程、96年度卒、工学博士	松下電工	03.4.14 ～05.4.4	協力 研究員
(バルク G) Yong Yang	ジョージア州立大学博士課程、02年度 卒工学博士	UCSB	04.9.1 ～05.9.30	研究員
(薄膜 G) 石田 昌宏 いしだ まさひろ	京都大学大学院工学研究科 電子 工学専攻修士課程 95年度卒	松下電器	05.1.1 ～06.1.31	協力 研究員
(薄膜 G) 藤井 克司 ふじい かつし	大阪大学基礎工学部物性物理工学 科、82年度卒、理学博士		04.7.2 ～06.3.31	研究員
(薄膜 G) 平子 晃 ひらこ あきら	東京理科大学大学院理学研究科物 理学専攻、04年度卒、理学博士		05.4.1 ～05.12.31	研究員
(バルク G) Benjamin Haskell	UCSB 工学部材料工学科博士課程、 05年度卒 工学博士	UCSB	01.10.1～ ～06.9.30	研究員
(薄膜 G) Paul T. Fini	UCSB 工学部材料工学科博士課程、 00年度卒 工学博士	UCSB	01.10.1～ ～06.9.30	研究員

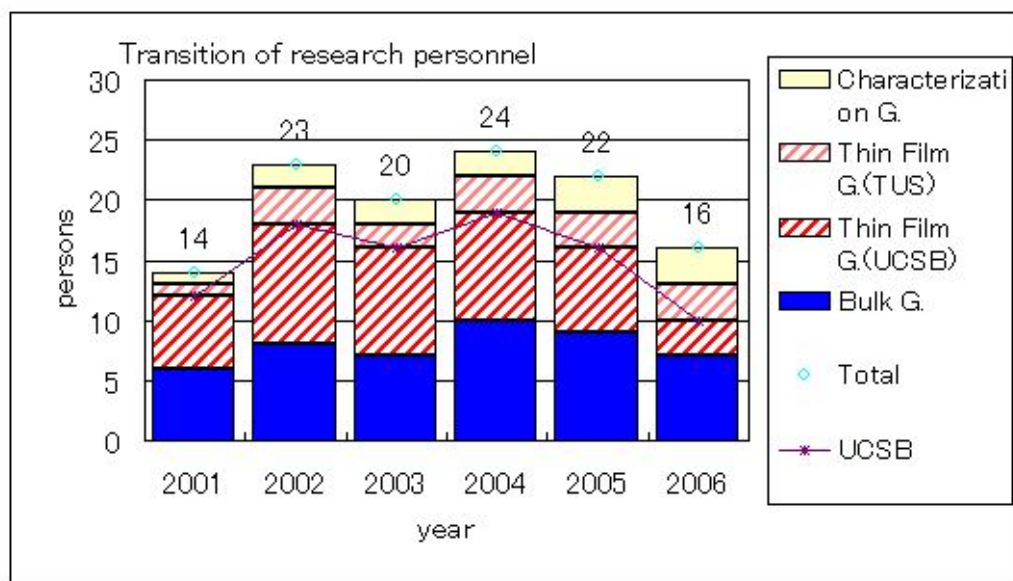
組織図 H17(2005)年3月



研究者の推移 累計：38名



研究者の年度推移



2.3 研究実施場所

(1) 総括責任者研究室

住所：Materials Department, University of California Santa Barbara
Santa Barbara, CA 93106, U.S.A.

電話：+1-805-893-5552 ファクス：+1-805-893-8983

e-mail：

(2) 事務所、研究実施場所、研究員居室

No.	名 称	住 所	居 室・ 研究室	電話・ファクス
1	飯田橋事務所 (一部研究室)	〒102-0071 東京都千代田区 富士見 2-4-6 寶紙業 5 号館ビル 101 号室	同左 148.5 m ²	Tel:03-3262-1241 Fax:03-3262-1481
2	UCSB バルク／薄膜 G	Materials Department, University of California Santa Barbara, CA 93106 U.S.A.	Engineering II・ Bld.503, Rm.1119(120m ²), Rm.1239(50 m ²)	Tel:+1-805-893- 8005 Fax:+1-805-893- 8983
3	筑波大学 評価 G	〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1- 1-1 筑波大学 電子・物理工 学専攻 数理物質科学研 究科	第 3 学群 D 棟 3 階 304 号 室、314 号室	Tel:029-853-5022 Fax:029-853-5022
4	東京理科大学 薄膜 G	〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3 東京理科大学	1 号館 5 階 514 号室 (30m ²)、 11 号館別館 3 階 試料作成室(15m ²)	Tel/Fax:03-3260- 4280

2.4 主要機器の概要

(i) 高額設備一覧

購入年度	機器名	設置場所
平成 13 年度	高分解能 X 線回折装置	UCSB
	蛍光顕微鏡	UCSB
	高繰返しフェムト秒高調波発生システム	筑波大
	光学測定用冷凍装置	筑波大
	ストリーク管	筑波大
平成 14 年度	マルチチャンネル分光測定装置	筑波大
	パルス Nd:YAG レーザ	筑波大
	AlN 昇華法装置	UCSB
	エキシマレーザ	UCSB
	マスクアライナ	東京理科大
	超音波ワイヤボンダ	東京理科大
	サンドブラスト装置	東京理科大
	スパッタ装置	東京理科大
	表面粗さ計	東京理科大
	PLE 光源装置	東京理科大
	走査型プローブ顕微鏡	筑波大
平成 15 年度	昇華法装置付属グローブボックス	UCSB
	ガスソース MBE プラズマ室素源	UCSB
	エポキシダイボンダー	UCSB
	ボールワイヤボンダー	UCSB
	ナイトライド系半導体 OMVPE 装置圧力制御システム	東京理科大
	フェムト秒パルスセレクター	筑波大
	紫外光エキシマレーザ装置	筑波大
平成 16 年度	歪み測定装置(MOS system)	UCSB
	グラインド・マシン (Grinding Machine)	UCSB
	近赤外蛍光寿命モジュール NIR-TAC12 浜松ホトニクス	筑波大
	光出力分析装置	東京理科大
	広帯域高分解能分光システム	東京理科大
平成 17 年度	リアクターチャンバー	UCSB
	薄膜構造 X 線回折測定装置	筑波大

借用装置

・ UCSB :

MOCVD (In,Al)GaN 装置 (5), GaN, AlN HVPE 装置, エキシマレーザ-リフトオフ装置, 透過型電子顕微鏡 (3), 走査型電子顕微鏡 (3), 原子間力顕微鏡 (3), 二次イオン質量分析装置, クリーンルーム, ホトリソ装置, 金属・誘電体蒸着装置, ドライエッチング装置, プラズマ MBE 装置, 高温高压アニール装置, RIE 装置, 電子ビーム蒸着装置, 薄膜 CVD 装置, 光学デバイス評価装置, 電子デバイス評価装置

・ 筑波大学、東京理科大学 :

MOVPE 装置, NH₃ ソース GS-MBE, 低速陽電子消滅測定装置, SEM/CL 装置, ホトリフレクタンス, レフレクタンス, PL 測定装置, He-Cd レーザー(2), グレーティング分光器(3), 低温(He)クライオスタット, 真空蒸着装置, EB 蒸着装置, DLTS, I-V, C-V 測定装置

(ii) 主要装置の写真

高分解能 X 線回折装置



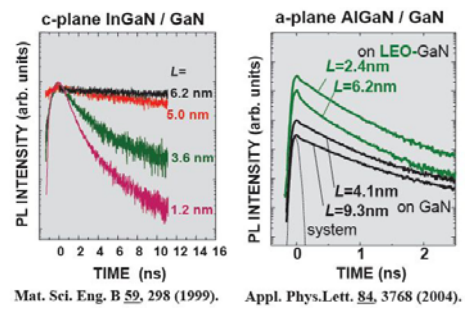
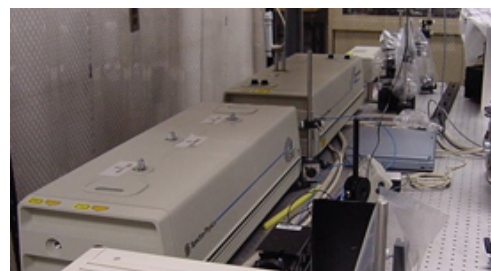
AlN 昇華法装置



アンモニアサーマルリアクター (安熱合成法)



時間分解フォトルミネセンス法



歪み測定器



薄膜構造 X 線回折測定装置



2. Organization of the project

2.1 Approach of Research and Organization of Project

The objective of this research is to understand physical phenomena of inhomogeneity and/or homogeneity in semiconductor crystals, especially in III-nitride materials, to develop techniques to control inhomogeneity, and to apply them to actual devices. We compare inhomogeneous crystals with homogeneous crystals to understand physical phenomena related to inhomogeneity. In particular, we paid close attention to the role of crystalline defects. For this purpose, we tried to make homogeneous crystals with extremely few defects on one side of this project, and at the same time, we intentionally made inhomogeneous crystals on the other side. Here, crystal inhomogeneity means all inhomogeneity such as compositional inhomogeneity, inhomogeneous carrier distributions, structural inhomogeneity, size inhomogeneity, crystal anisotropy, impurities, etc.

We tried to make homogeneous crystal substrates by researching and developing bulk crystal growth techniques in order to compare inhomogeneous crystals with homogeneous crystals and to establish the control techniques of inhomogeneity. By choosing GaN as the main research material, we aim to understand various effects related to wide band-gap wurtzite semiconductor crystals, which could not be researched with conventional semiconductor crystals.

This project sets up the following three research groups based on the above-mentioned concepts:

- (1) Inhomogeneous Crystal Bulk group
- (2) Inhomogeneous Crystal Thin Film group
- (3) Inhomogeneous Crystal Characterization group

The main purpose of the Bulk group is to research and develop growth techniques to obtain homogeneous crystals. Growth of bulk crystals with low defect density is one of the most important goals in this project, because i) a homogeneous, standard crystal is indispensable to evaluate inhomogeneous crystals, ii) low-dislocated crystals will improve performance of various devices which are currently grown on foreign substrates such as sapphire, iii) homogeneous crystals are necessary as a “base” to control inhomogeneity artificially. We have attempted several methods such as ammonothermal methods, flux methods, sublimation methods, etc., to obtain bulk single crystals, and hydride vapor phase epitaxy (HVPE), etc., to obtain thick free-standing substrates.

The Thin Film group heteroepitaxially and homoepitaxially grew GaN-related thin films and fabricated optical devices. Through characterization of grown thin films and devices, we have deepened the understanding of physical properties related to inhomogeneities. Moreover, we aimed to improve the characteristics of devices based on the understandings of inhomogeneous crystals. In order to help control inhomogeneity, the crystal growth process is analyzed by numerical calculations.

The Characterization group chiefly extracts information on the optical transition processes in inhomogeneous and homogeneous crystals. The goal of the Characterization group is to link the findings to a device structure. The work of the Characterization group consists of theoretical assessments, actual measurements, and analyses of the data.

In consideration of the above-mentioned mission of each group, the “Inhomogeneous Crystal Bulk group” is located at UCSB (University of California, Santa Barbara), the “Inhomogeneous Crystal Thin Film group” is located at UCSB and Tokyo University of Science, and the “Inhomogeneous Crystal Characterization group” is located at University of Tsukuba. These three groups are working cooperatively to accomplish the mission of this project.

The main members of each group are the following:

- (1) Inhomogeneous Crystal Bulk group

Group Leader: Dr. James S. Speck / Researchers: Dr. Tadao Hashimoto

(2) Inhomogeneous Crystal Thin Film group

Group Leader: Dr. Kazuhiro Ohkawa /

Researchers: Dr. Paul T. Fini, Dr. Feng Wu, Dr. Katsushi Fujii

(Thin Film group at UCSB works on growth by MOCVD and MBE, device fabrication and evaluation.)

(Thin Film group at Tokyo University of Science works on simulations of MOCVD growth processes, actual growth for collation with simulated results, study of thermal stability of grown crystals, and application of the grown crystals.)

(3) Inhomogeneous Crystal Characterization group

Group Leader: Dr. Shigefusa Chichibu / Researcher: Dr. Takeyoshi Onuma