薄膜トランジスタ

薄膜材料デバイス研究会 編

コロナ社

執筆者一覧（五十音順）

執筆者名	所属	担当箇所
浦岡行治（うらおか ゆきはる）	奈良先端科学技術大学院大学	4.5節，5.2節
神谷利夫（かみや としお）	東京工業大学	2.5.4項，3.5節，4.1節～4.3節，5.3節
木村睦（きむら むつみ）	龍谷大学	2章，6.2.1項，6.2.2項，6.2.4項
佐野直樹（さの なおき）	（株）ハイテック・システムズ	4.4節
鮫島俊之（さめしま としゆき）	東京農工大学	1章，全体編集
清水耕作（しみず こうさく）	日本大学	2.5.2項
竹知和重（たけち かずしげ）	日本電気（株）（研究組合TRADIM）	2.5.2項，3.2節，5.1節
中村雅一（なかむら まさかず）	千葉大学	2.5.3項，3.4節，4章
東清一郎（ひがし せいいちろう）	広島大学	3章
古田守（ふるた まもる）	高知工科大学	3.3.4項，6.1節，6.2.3項，7章
堀田將（ほりた すすむ）	北陸先端科学技術大学院大学	1章，全体編集

（所属は2008年9月現在）

ま　え　が　き

薄膜トランジスタ（TFT）の技術開発は，結晶基板上に作製されるトランジスタと同様に長い歴史をもち，近年の目覚しい発展を遂げている。特に非晶質（アモルファス）シリコンや多結晶シリコンによるTFTは，われわれの生活における必需品となりつつある液晶テレビ・ノートパソコン・携帯電話などにおいて欠かすことのできないフラットパネルディスプレイの駆動素子としての大いなる普及の礎となっている。またこれに呼応するかのように，有機トランジスタや酸化物TFTによるフレキシブルディスプレイ，透明デバイスの実用化可能性が真剣に議論されるようになり，基礎研究から応用技術開発段階まで，多種多様なTFTの研究開発が精力的に展開されている。このような状況下，このたび，コロナ社の便宜によって薄膜トランジスタ（TFT）の解説書を刊行することになった。この時期，本書が刊行されるのは，まことに時宜を得たことといえるであろう。

本書の企画・執筆は薄膜材料デバイス研究会の組織委員メンバーが中心となって行った。執筆陣は，さまざまな専門分野・立場から広くTFTおよび薄膜材料デバイス関連の研究・開発にかかわっている大学の教員と企業の研究者・技術者である。そして，TFTについてのまとまった教科書がないという手探りの中，限りない失敗と試行錯誤の経験の上に，TFT技術に対し多くの貢献をしてきたメンバーでもある。したがって，大学の学部学生・大学院生や，企業において薄膜関連業務に新たに携わろうとする若き研究者・技術者向けに，わかりやすく便利で役に立つ解説書を書いたらどうか，という話が同研究会内でもち上がったとき，組織委員のみならず，一般の研究会参加者からも絶大な支持が得られたのである。

このような動機に基づき，本書執筆にあたっては，執筆陣の苦い経験を繰り

返す必要のないよう，本書だけでTFT技術における重要事項を総合的に学ぶことができることを目指した。また同研究会の特徴を反映して，すでに実用化されているシリコン系TFTのみならず，有機TFTや酸化物TFTなどについても同等の比重をもって解説した。具体的には，TFT概論および発展史（1章），TFTの動作原理（2章），作製技術（3章），各種評価技術（4章），劣化現象や信頼性評価技術（5章），および応用技術（6章）や将来技術（7章）に至るまで広範囲なTFT技術に関する重要な知識を系統的かつ効率的に習得できるように，またできるだけ平易な記述になるように努めて，内容を構成した。したがって，本書が大学における講義用教科書・副読本として活用できることはもちろん，初学者だけでなくTFTの専門技術者にも役に立つハンドブック・参考書としての機能を果たし得るであろうことを期待している。また本書の内容に関連した資料を，「付録」および「役に立つ資料集」として，薄膜材料デバイス研究会のホームページ（http://www.tfmd.jp）に掲載した。本書と併せて活用いただきたい。

本書は日々発展するTFT分野の最新最良の技術解説書を目指して，2008年6月に脱稿され，その後約3箇月間薄膜材料デバイス研究会メンバーにより通読校正された。しかしなお記述不足や誤りがあるであろう。また，本書がカバーできない重要事項も多いであろう。これらは読者諸氏のご指摘ご批判に頼るほかなく，それにより本書が良書として育てられれば望外の幸いである。

最後に，原稿添削段階において多くの貴重なアドバイス，コメントをいただいた波多野睦子氏，原昌輝氏，池田裕幸氏，平松秀典氏，野村研二氏，またESR関連データのご提供とご校正にご協力いただいた，梶原浩一氏，松石聡氏，細野秀雄氏に深く感謝する。

2008年9月

薄膜材料デバイス研究会組織委員会

目　　次

1. 序　　論

1.1　薄膜トランジスタ（TFT）とはなにか ……1
1.2　TFT 発展の歴史 ……4
1.2.1　TFTの始まり ……4
1.2.2　ディスプレイへの応用展開 ……7
1.2.3　TFT 発展の理由 ……9

2. TFT の動作原理

2.1　基本的な動作原理 ……11
2.1.1　基　本　構　造 ……11
2.1.2　電　界　効　果 ……12
2.1.3　電流電圧特性 ……13
2.2　基　礎　知　識 ……18
2.2.1　キャリア密度 ……18
2.2.2　キャリア輸送 ……21
2.3　捕　獲　準　位 ……23
2.3.1　帯電型とエネルギー分布 ……23
2.3.2　空　間　分　布 ……25
2.4　より詳しい動作原理 ……33
2.4.1　基　本　構　造 ……33
2.4.2　電　界　効　果 ……33

2.4.3 容量電圧特性 ……40
2.4.4 電流電圧特性 ……41
2.4.5 その他の現象 ……53
2.5 種々の TFT ……56
2.5.1 多結晶シリコン TFT ……56
2.5.2 非晶質シリコン TFT ……59
2.5.3 有 機 TFT ……61
2.5.4 酸化物 TFT ……67

3. TFT 作製技術

3.1 トップゲート構造およびボトムゲート構造 ……75
3.2 水素化非晶質シリコン TFT 作製技術 ……76
3.2.1 水素化非晶質シリコン TFT プラズマプロセスの主な特徴 ……76
3.2.2 水素化非晶質シリコン TFT プラズマプロセスにおけるガス圧力の効果 ……78
3.2.3 プラズマパラメータの予測と大面積化時の課題 ……81
3.2.4 プラズマ CVD ……86
3.3 多結晶シリコン TFT 作製技術 ……92
3.3.1 洗 浄 技 術 ……94
3.3.2 多結晶シリコン膜形成技術 ……95
3.3.3 ゲート絶縁膜形成技術 ……113
3.3.4 ドーピング技術 ……120
3.4 有機 TFT 作製技術 ……126
3.4.1 素 子 構 造 ……126
3.4.2 チャネル領域形成法 ……127
3.4.3 ゲート絶縁層形成法 ……128
3.4.4 ソース・ドレイン電極形成法 ……129
3.5 酸化物 TFT 作製技術 ……130

4. 評 価 技 術

4.1 膜　　厚 …… 134
4.1.1 接触式膜厚測定法 …… 135
4.1.2 非接触式膜厚測定法：電子顕微鏡 …… 135
4.1.3 非接触式膜厚測定法：光学顕微鏡 …… 136
4.1.4 非接触式膜厚測定法：光学スペクトル …… 137
4.1.5 非接触式膜厚測定法：エリプソメトリー …… 138
4.1.6 非接触式膜厚測定法：X 線反射率スペクトルと薄膜の密度 …… 140
4.1.7 その場測定法 …… 140
4.2 構 造 評 価 …… 141
4.2.1 XRD：長距離秩序，格子ひずみ，結晶子径 …… 143
4.2.2 X 線散乱，EXAFS：短距離秩序，中距離秩序 …… 146
4.2.3 その他の回折による構造評価 …… 147
4.2.4 顕微鏡による微構造評価 …… 148
4.3 組 成 分 析 …… 151
4.3.1 水 素 の 分 析 …… 154
4.3.2 欠 陥 評 価 …… 156
4.4 光 学 評 価 …… 158
4.4.1 エリプソメトリー …… 158
4.4.2 赤 外 分 光 …… 161
4.4.3 ラマン散乱分光 …… 164
4.5 電 気 特 性 …… 168
4.5.1 四端子法と四探針法 …… 168
4.5.2 ホール効果測定 …… 169
4.5.3 深いエネルギー準位の電気的評価法 …… 173

5. TFT の劣化現象と信頼性評価技術

5.1 非晶質シリコン TFT における劣化現象 …… 176

5.1.1 しきい値電圧のシフト ……176
5.1.2 光劣化現象 ……178
5.2 低温多結晶シリコン TFT における劣化現象 ……179
5.2.1 ホットキャリア劣化 ……179
5.2.2 発熱による劣化 ……182
5.2.3 信頼性向上技術 ……186
5.3 酸化物 TFT における劣化現象 ……186

6. TFT の応用技術

6.1 TFT のディスプレイ応用 ……188
6.1.1 液晶ディスプレイ（LCD） ……189
6.1.2 有機 EL（OLED）ディスプレイ ……196
6.1.3 電子ペーパー ……199
6.2 TFT のセンサ応用 ……203
6.2.1 フォトセンサ ……203
6.2.2 X 線センサ ……205
6.2.3 撮像デバイス ……206
6.2.4 その他のセンサ ……209

7. TFT の将来技術

7.1 映像ディスプレイ用 TFT 技術の将来 ……211
7.2 フレキシブルディスプレイ用 TFT 技術の将来 ……214

引用・参考文献 ……215
索　　引 ……225

記　号　表

物理定数・基本変数

q	素電荷 (1.60×10^{-19})	C
h	プランク定数 (6.63×10^{-34})	J・s
k	ボルツマン定数 (1.38×10^{-23})	J/K
ε_0	真空の誘電率 (8.85×10^{-14})	F/cm
T	温　度	K
E_T	熱電圧 (kT/q)	V
E_a	活性化エネルギー	eV

エネルギー準位・キャリア密度

E_c	伝導帯の下端	eV
E_v	価電子帯の上端	eV
E_f	フェルミ準位	eV
E_i	真性フェルミ準位	eV
E_g	バンドギャップ	eV
E_d	ドナー準位	eV
E_a	アクセプタ準位	eV
f_{FD}	フェルミ・ディラック分布関数	
f_{MB}	マクスウェル・ボルツマン分布関数	
N_c	伝導帯の実効状態密度	cm^{-3}
N_v	価電子帯の実効状態密度	cm^{-3}
n	電子密度	cm^{-3}
p	正孔密度	cm^{-3}
n_i	真性キャリア密度	cm^{-3}
N_d	ドナー密度	cm^{-3}
N_a	アクセプタ密度	cm^{-3}

ポテンシャル・キャリア輸送

ϕ	ポテンシャル	V
ϕ_{it}	界面ポテンシャル	V
ϕ_{fr}	表面界面ポテンシャル	V
ϕ_{bk}	裏面界面ポテンシャル	V
E	電　界	V/cm
L_D	デバイ長	nm
F_{drift}	ドリフトの流れ密度	$cm^{-2}\cdot s^{-1}$
v_{drift}	ドリフト速度	cm/s
μ	移動度	$cm^2/(V\cdot s)$
F_{diff}	拡散の流れ密度	$cm^{-2}\cdot s^{-1}$
v_{diff}	拡散速度	cm/s
D	拡散係数	cm^2/s
σ	電気伝導率	S/cm

捕獲準位

N_{gr}	帯電膜内捕獲準位密度	cm^{-3}
D_{gr}	膜内捕獲準位密度	$cm^{-3}\cdot eV^{-1}$
N_{it}	帯電界面捕獲準位密度	cm^{-2}
D_{it}	界面捕獲準位密度	$cm^{-2}\cdot eV^{-1}$
N_{fr}	帯電表面界面捕獲準位密度	cm^{-2}

D_{fr}	表面界面捕獲準位密度	$cm^{-2}\cdot eV^{-1}$
N_{bk}	帯電裏面界面捕獲準位密度	cm^{-2}
D_{bk}	裏面界面捕獲準位密度	$cm^{-2}\cdot eV^{-1}$
N_{gb}	帯電粒界捕獲準位密度	cm^{-2}
D_{gb}	粒界捕獲準位密度	$cm^{-2}\cdot eV^{-1}$
L_{gr}	結晶粒径	nm
L_{gb}	結晶粒界の空乏層幅	nm
n_{gr}	結晶粒の中央の電子密度	cm^{-3}
ϕ_{gr}	結晶粒の中央のポテンシャル	eV
ϕ_{gb}	結晶粒界のポテンシャルバリア	eV

トランジスタ構造・トランジスタ特性

ε_s	チャネル領域の誘電率	F/cm
t_s	チャネル領域の膜厚	nm
c_s	チャネル領域の単位面積当りのキャパシタンス	F/cm^2
ε_i	ゲート絶縁膜の誘電率	F/cm
t_i	ゲート絶縁膜の膜厚	nm
c_i	ゲート絶縁膜の単位面積当りのキャパシタンス	F/cm^2
W	チャネル幅	μm
L	チャネル長	μm
S	サブスレッショルドスイング（S 値）	V/dec
V_{th}	しきい値電圧	V
μ	移動度	$cm^2/(V\cdot s)$
μ_{FE}	電界効果移動度	$cm^2/(V\cdot s)$
μ_{eff}	実効移動度	$cm^2/(V\cdot s)$
g_m	トランスコンダクタンス	S
g_d	チャネルコンダクタンス	S

電圧・電流

V_g	ゲート電位	V
V_s	ソース電位	V
V_d	ドレイン電位	V
V_c	チャネル電位	V
V_{gs}	ゲート-ソース間電圧（V_g-V_s）	V
V_{gd}	ゲート-ドレイン間電圧（V_g-V_d）	V
V_{gc}	ゲート-チャネル間電圧（V_g-V_c）	V
V_{ds}	ドレイン-ソース間電圧（V_d-V_s）	V
V_{cs}	チャネル-ソース間電圧（V_c-V_s）	V
V_{ps}	ピンチオフ電圧	V
I_{ds}	ドレイン電流	A

1 序　論

本章は，読者が本書を有効利用されるための解説を主たる目的として，液晶ディスプレイの駆動素子としてトランジスタ産業の重要な地位を占める存在となった薄膜トランジスタの構造，動作，および発展の歴史について概説する。そして薄膜トランジスタの発展理由についても考察する。

1.1　薄膜トランジスタ（TFT）とはなにか

今日，薄くて軽くて綺麗なディスプレイ（表示装置）が液晶テレビやノートPC（personal computer）や携帯電話に使われ，私たちの日々の生活を豊かに便利にしている。本書はこの薄くて軽くて綺麗なディスプレイの立役者として発展した**薄膜トランジスタ**（thin-film transistor，**TFT**）の解説書である（以下，TFT と記す）。TFT は半導体材料を用いてつくられる**金属/絶縁膜/半導体**（Metal/Insulator/Semiconductor，**MIS**）**電界効果トランジスタ**（field-effect transistor，**FET**）の一種である。TFT は厚さがたかだか 0.5 μm 程度とたいへん薄いので，薄いディスプレイを駆動する電子回路をつくるのに便利である。

多くの読者はシリコン（Si）半導体を用いて開発された**金属/酸化膜/シリコン**（Metal/Oxide/Semiconductor，**MOS**[†]）**FET** をご存じだろう。MOS-FET はもちろん MISFET の一種であり，結晶 Si 基板のごく表面部分に形成されている。結晶基板は高性能のトランジスタをつくるうえでたいへん重要で

† MIS 構造の絶縁体を SiO_2 にした場合 MOS 構造という。

ある。しかし，結晶基板の大部分はトランジスタ動作に直接は寄与していない。荒っぽくいうと，動作に直接必要なだけのごく薄い半導体膜を用いて作製されたトランジスタがTFTである。

TFTのMOSFETとの作用や特性の違いはなんだろうか？ TFTの特徴や特長はなんだろうか？ なぜTFTはこんなに発展したのだろうか？ TFTの抱える課題はなんだろうか？ TFTは将来どのような発展が期待できるのか？ 本書はこれらの疑問に答えるべく書かれたものである。大学で半導体物理や電子デバイスの勉強を始めた学生諸君が，TFTの動作原理を系統的に学べるように，充実した理論解説が展開される。またTFTの作製を試みる読者のために，最新のTFT作製技術の解説を設けている。TFTの勉強あるいは開発研究のためには，評価解析が欠かせない。本書にはTFTにまつわる評価技術，解析手法の充実した解説を用意している。そして現在TFTがどのような電気・電子機器に応用され，実用化されているかを解説している。そして本書の執筆陣の将来展望が述べられている。

本章では次章からの充実した解説の前に，まずTFTとはなにかをさっと見てみよう。そしてこれまでのTFTの発展歴史を振り返ってみよう。

〔1〕 **どんな構造なのか？**　TFTはMISFETの一種だから，**図1.1**（a）に示すように，TFTはソース，ゲート，ドレインの三つの金属電極端子がある。通常ソースはゼロ電位，ドレインには必要な電圧（ドレイン電圧）をかける。ソースおよびドレイン電極は不純物をドーピングした低抵抗の半導体領域に接している。低抵抗半導体領域に挟まれた領域は不純物をドーピングし

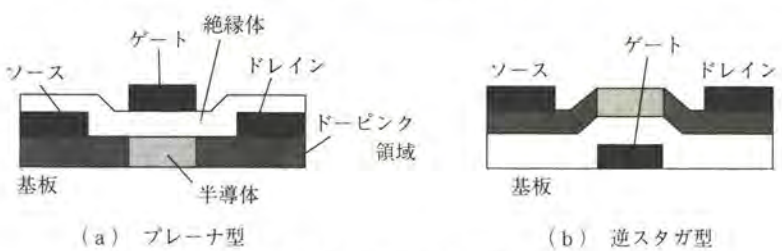

図1.1 TFT　構　造

ない半導体領域であり，チャネル領域という。チャネル領域は絶縁膜で覆われており，その上にゲート電極がある。ゲート電極に電圧をかけるとチャネル領域の抵抗が変化する。よってソースとドレイン間に流れる電流が変わる。これがトランジスタの基本的動作である。

図1.1（a）は絶縁体基板上に形成されたプレーナ型というTFTの断面構造である。MOSFETは結晶体上に形成されるので**プレーナ構造**である。これに対して，TFTは半導体薄膜を用いてつくるので，半導体，絶縁体，不純物領域，金属の作製順番を変えることによって，いろいろな構造が作製できる。現在プレーナ構造と並んでよく用いられている逆スタガTFT構造を図（b）に示す。**逆スタガ（ボトムゲート）構造**はゲート電極が一番下にあり，ゲート絶縁膜の上に半導体膜がある。ソース，ドレイン電極は一番上に形成される。この構造は現在，**水素化非晶質シリコン**†（**a-Si:H**）**TFT**において最もよく使用される構造である。構造の自由度はTFT発展の大きな要因である。3章においてTFTの構造とその作製技術について最新の技術を紹介しつつ詳細に解説する。

〔2〕 **なぜTFTは薄いのか？**　トランジスタは電圧をかけることによって，半導体チャネル領域の電子および正孔のポテンシャルエネルギーを変化させて電子および正孔（ホール，positive hole）のキャリア濃度を制御する素子である。結晶Siの場合，バンドギャップエネルギーE_Gは常温で1.12 eV，伝導帯有効状態密度は$3.2\times10^{19}\,\mathrm{cm}^{-3}$である。これは結晶Si中の電子の電位約1 Vの変化によってキャリア密度が$10^{19}\,\mathrm{cm}^{-3}$程度変化しうることを示している。半導体チャネルに発生した電荷密度ρは有名な電気力学の**ポアソン則**によって自発的に電位ϕの変化をもたらす。

$$\Delta\phi=-\frac{\rho}{\varepsilon} \tag{1.1}$$

例えばSi中に$1\times10^{19}\,\mathrm{cm}^{-3}$の電荷密度が均一にあるとき，1 Vの電位変化に

† 「非晶質」を「アモルファス」と表記する場合もあるが，本書では「非晶質」の表記を統一して使用する。

要する距離は約 3.5 nm である。すなわち，薄い TFT がちゃんとトランジスタの機能を果たすのは自己整合的電気力学的作用による。2 章において TFT の動作原理を系統的に解説する。従来のトランジスタの原理を踏まえつつ，TFT の動作の特徴を整理して述べる。

〔3〕 **なにがよいのか？なにが問題なのか？**　TFT の利点はなんといっても基板の種類を問わないことである。原理的にはどんな物の上にもつくれる。最近プラスチックフィルムの上に TFT を作製する試みが盛んに行われている。6 章に充実した TFT 応用の解説を掲載した。しかし TFT は単結晶半導体基板を使わないので，単結晶半導体薄膜による TFT の作製はきわめて困難である。多くの TFT は単結晶ではない半導体膜につくられる。

単結晶を使えない環境から生まれた特異な TFT が，a-Si:H TFT である。半導体層は a-Si:H である。したがって電子移動度は小さい，キャリア濃度も小さい。よって MOSFET に比べて小さな電流しか流せず，スイッチング周波数も低い。しかしこれまでの技術開発は，薄くしかもメートルサイズにわたって均一な特性の a-Si:H TFT 素子を実現した。その結果 a-Si:H TFT は 2007 年現在，5 兆円産業となった液晶ディスプレイの必須の画素駆動素子となった。

TFT は通常単結晶ではない半導体膜につくられるので，結晶欠陥が内在する。欠陥は半導体中の電流を流しにくくする作用をする。だから，電流を流すために TFT は MOSFET に比べて大きな電圧が必要である。欠陥を少なくすれば，小さい電圧で大きな電流が得られる。欠陥のために生じた再結合リーク電流も，小さくすることができる。欠陥低減は高性能 TFT 開発の大きなテーマである。

1.2　TFT 発展の歴史

1.2.1　TFT の始まり

今日の大発展を遂げた TFT の端緒となる最初の基本的発明は，真空管に代わる素子を目指した 1930 年の **Lilienfeld** による電流制御素子の提案にさかの

ぼる[1)†]。その構造は，ガラス基板上に3電極と半導体に類似した機能性薄膜を用いたものであるが，実際には，動作しなかったようである。つぎに1934年に**Heil**の3端子の増幅素子の特許がドイツで出願された[2)]。これには，**図1.2**に示すように現在のTFTやMOSFETの基本材料である半導体やゲート絶縁膜を用いることが示されていた。しかし，これも実際の動作には至らなかった。やがて，**ショックレー**（Shockley）がショットキーゲート型TFTを1939年に検討し，1945年には真空蒸着したSiやゲルマニウム（Ge）薄膜でTFTを試したが，トランジスタ効果はわずかなものであった[3)]。彼はこの失敗を**バーディーン**（Bardeen）と討議した。そして有名な表面準位の**バーディーンモデル**（Bardeen's model）が生まれることになる。

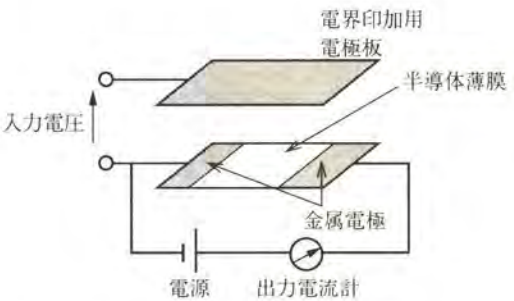

図1.2 Heilが特許出願した3端子電界効果型TFT

当時，Si薄膜は構造起因性欠陥の制御が成されておらず，半導体として十分な機能を発揮していなかった。そこで，**硫化カドミウム**（CdS）[4),5)]，**セレン化カドミウム**（CdSe）[6)~8)]などのII-VI族化合物カルコゲナイド半導体や**テルル**（Te）[9)]を用いたTFTの開発が行われた。CdSやCdSeは光導電デバイス材料として当時盛んに研究されていた材料である。真空蒸着により容易に半導体薄膜が形成でき，5～50 $cm^2/(V \cdot s)$のホール移動度をもつ多結晶薄膜によるTFTの作製が報告されている。しかし当時の2元系化合物半導体の膜質制御技術は十分とはいえず，かつゲート絶縁膜界面欠陥問題も大きく，トランジスタ特性を再現よく実現することはできなかった。Teでは，蒸着による厚さ40

† 肩付数字は，巻末の引用・参考文献番号を表す。

索　　引

【あ】

アインシュタインの関係 22
アクセプタ 21
アクセプタ型捕獲準位 23
アクティブマトリクス型
　液晶ディスプレイ 6
アクティブマトリクス方式 191
浅い準位 24
アバランシェ降伏 53
アレニウスプロット 174

【い】

イオン化エネルギー 20
イオン散乱 21
イオンドーピング 93
一次粒構造 150
一定光電流法 157
移動度 14,51
イメージスキャナ 203
インキュベーション層 96
インクジェット法 127
インターフェログラム 163
インパクトイオン化 53

【え】

エキシマレーザ 103
液晶ディスプレイ 189,211
エッジ効果 149
エネルギー準位 18
エネルギー準位密度 19
エネルギーバンド 18
エネルギー分散型分析装置 151
エピタキシャル成長 100
エリプソメトリー 138,158
エレクトロルミネッセンス素子 196

【お】

オージェ電子分光法 152
オフ抵抗 194
オフ領域 45
オン抵抗 194
温度特性 55
オン領域 44

【か】

外光センサ 203
回折線 144
回折パターン 143
界面準位電荷 113
界面準位密度 117
界面捕獲準位 25
カイラルネマティック液晶 200
ガウス型準位 24
化学シフト 152
拡　散 22
拡散係数 22
活性化エネルギー 55,98
価電子帯 18
　――の上端 18
荷電ソリトン 64
可動イオン電荷 113
カラーフィルタ 191
完全溶融 106

【き】

寄生抵抗 59
逆スタガ構造 3
キャスト法 127
キャリア 13
キャリア再結合 47
キャリア生成 46
キャリア密度 18
キャリア輸送 18,21
急速熱処理 100
共焦点顕微鏡 136
極点図形 146
キンク現象 53
金属誘起結晶化 99

【け】

蛍光X線分光法 151
経時絶縁破壊 114
結晶化 96
結晶核生成 97
結晶子 142
結晶粒 26,142
結晶粒界 26,142
結晶粒径 26,98,142
ゲート絶縁膜 11,113
ゲート-ソース間電圧 13
ゲート端子 11
ゲート電位 12
ゲート特性 16
原子間力顕微鏡 105,150
原子層堆積法 132

【こ】

高圧水蒸気熱処理 109
光学ギャップ 160
格子間位置 71
格子定数 143
光熱偏向分光法 157
光熱ベンディング分光法 157
広範囲X線吸収微細構造 147
固相結晶化 97
固定電荷 113
コレステリック相 189

【さ】

最高占有分子軌道 62
最低非占有分子軌道 62

サブスレッショルドスイング 49
サーモトロピック液晶 189
酸化亜鉛 67
酸化アルミニウム 132
酸化イットリウム 132
酸化ハフニウム 132
酸化物 TFT 67
酸化膜 3 価 Si 114
酸化膜トラップ電荷 113
酸素プラズマ処理 109
散乱因子 170

【し】

しきい値下特性 49
しきい値電圧 13,50
自己整合 76
四重極質量分析計 154
実効移動度 52
実効状態密度 20
質量分離 122
自由エネルギー 97
集合作用の法則 21
終　端 59
充電誤差 195
出力特性 16,45
昇温脱離ガス分析 155
小角 X 線散乱 147
状態密度 19
触針式段差計 135
ショックレー 5
ショックレー・リード・ホール生成 46
人工網膜 203
真性キャリア密度 20
真性半導体 20
真性フェルミ準位 20

【す】

水晶振動子法 141
水素化 59
水素化非晶質シリコン TFT 3,76
水素プラズマ処理 109
スイッチング機能層 188
裾状準位 24
裾状態 161
スティグメーション 149
ストークス過程 165
ストークスシフト 166
スネルの法則 158
スピンコート 127
スメクティック相 189

【せ】

赤外半導体レーザー吸収法 88
赤外分光 154,162
接合容量法 173
セルフアライン 76
セレン化カドミウム 5
線形領域 14,43
線順次走査 192
全反射 140

【そ】

走査プローブ顕微鏡 150
双　晶 142
相補型 MOS 6
ソース電位 12
ソース領域 11
ゾルゲル法 132

【た】

対応粒界 142
帯電効果 148
多結晶シリコン TFT 8,56
短距離秩序 142
ダングリングボンド 59,109
段差被覆性 94

【ち】

チャージアップ 148
チャネルコンダクタンス 52
チャネル長 14
チャネル幅 14
チャネル領域 11
中距離秩序 142
長距離秩序 142
超横方向成長 107

【て】

低速電子回折 147
低分子 127
デバイスシミュレーション 26
デバイ長 22
テルル 5
電界緩和構造 94,120
電界効果移動度 52
電界効果トランジスタ 1
電界放射型走査電子顕微鏡 136
電気泳動方式 201
電子顕微鏡 135
電子サイクロトロン共鳴 118
電子サイクロトロン共鳴プラズマ CVD 118
電子常磁性共鳴 156
電子スピン共鳴 109,156
電子ペーパー 199
点順次走査 192
伝達特性 16,45
伝導帯 18
——の下端 18
電流電圧特性 15,41

【と】

投影飛程 121
透過電子回折 147
透過電子顕微鏡 104,136
透過率 137
動径分布関数 142
導電性高分子 64
透明導電性酸化物 67
ドーズ量 121
トップゲート構造 75
トップコンタクト 129
ドナー 20
ドナー型捕獲準位 23
ドナー準位 20
ドーパント 20
ドーピング領域 11
トラップ準位 23
トランスコンダクタンス 52
ドリフト 21
ドリフト移動度 170
ドレイン-ソース間電圧 14
ドレイン電位 12
ドレイン電流 13
ドレイン特性 16
ドレイン領域 11

【に】

二次イオン質量分析計 153

二次構造 150

【ね】

熱拡散係数 101
熱刺激容量法 173
熱電圧 19
熱プラズマジェット 110
ネマティック相 189

【の】

ノーマリーホワイト 190

【は】

配向揺らぎ 145
波長分散型 151
パッシブマトリクス型駆動方式 7
パッシブマトリクス方式 191
バッファ層 93
バーディーン 5
バーディーンモデル 5
パルスレーザー堆積法 132
反射高速電子回折 141
反射率 137
反ストークス過程 165
バンド間トンネリング 46
バンドギャップ 18
反応性イオンエッチング 133
反応性熱 CVD 96

【ひ】

非架橋酸素ホールセンター 156
光音響分光法 157
光吸収係数 160
光容量法 173
微結晶化 103
微結晶シリコン 96
微結晶シリコン TFT 56
飛行時間型質量分析法 154
飛行時間計測法 52
微細化 54
非晶質酸化物半導体 67,186
非晶質シリコン TFT 56
非点収差補正 149
薄膜トランジスタ 1
表示機能層 188
表面エネルギー 97
表面界面捕獲準位 35
表面形状測定器 135
ピンチオフ電圧 15
ピンチオフ領域 15,43

【ふ】

ファラデーカップ 123
ファンデルポー法 171
フェルミ準位 19
フェルミ・ディラック分布関数 19
フォトセンサ 203
フォノン散乱 21
深い準位 24
複素誘電関数 138,161
不対電子 156
プラズマ CVD 76,118
プラズマ化学気相堆積法 76
ブラッグ条件 143
ブラッグ反射 144
フラットパネルディスプレイ 8,211
フーリエ変換型赤外分光光度計 162
フリーキャリア吸収解析 163
ブリッジ型試料 171
プール・フレンケル効果を伴うフォノン介在トンネリング 46
プレーナ構造 3
フレネルの振幅反射係数 158
フレーム周波数 193,212
分光エリプソメトリー 159
分子線エピタキシー 132,141

【へ】

ヘビードープ 21
ベールの法則 160

【ほ】

ポアソン則 3
ポアソン方程式 21
妨害イオン 154
飽和領域 15,43
捕獲準位 13,23
保持容量 94
ポストメタライゼーションアニール 119
ホットキャリア 53
ホッピング 64
ポテンシャルバリア 26,108
ボトムゲート構造 3,76
ボトム効果 151
ボトムコンタクト 130
ポーラロン 64
ポリマー 127
ホール移動度 52,170
ホール因子 170
ホール係数 170
ホール効果 169
ホール電圧 170
ホールプロット 145

【ま】

マイケルソン干渉計 163
マクスウェル・ボルツマン分布関数 20
膜内捕獲準位 25

【み】

未結合手 59,109
ミラー指数 144

【め】

面内回折測定 146

【ゆ】

有機 EL ディスプレイ 197
有機 TFT 62
有機エレクトロルミネッセンス 8
有機金属化学気相堆積法 132
有機発光ダイオード 8
有機膜積層型 CMOS イメージセンサ 209
誘導結合プラズマ発光分析 151

【よ】

容量センサ 209
容量電圧特性 42

横光学モード 167
四象限光位置センサ 150
四端子法 168
四探針法 168

【ら】

ラジカル 79
ラマン活性 165
ラマン散乱分光 164
ラマン散乱分光法 105
ラマンシフト 166

【り】

裏面界面捕獲準位 36
粒界捕獲準位 26
硫化カドミウム 5

【れ】

冷陰極 HARP 撮像板 207
レイリー散乱 165
レーザー非晶質化 104
レーザー誘起蛍光法 88

【ろ】

六端子ホールバー 171
ロッキングカーブ 145

【数字・ギリシャ】

3 価 Si 114
3 極管領域 14
5 極管領域 15
μc-Si 96
μc-Si TFT 56
π 共役軌道 62

【A】

AC ホール測定 171
AES 152
AFM 105, 150
ALD 132
AM 型液晶ディスプレイ 6
AM 型駆動方式 7
AM 方式 191
AOS 67, 132, 186
a-Si:H TFT 3, 76
a-Si TFT 56, 59

【B】

BBT 46
BT 試験 113

【C】

Chemical Bath Depostion 132
CMOS 6
CN 液晶 200
CPM 157
CVD 76
CV 曲線 114

【D】

deflection 像 150
disorder モデル 64
DLTS 173
DNA センサ 209
DOS 19
Drude モデル 138

【E】

E_1 ピーク 138
E_2 ピーク 138
ECR 118
ECR プラズマ CVD 118
EDS 151
EDX 151
EL 素子 196
EPMA 151
EPR 156
ESCA 152
ESR 109, 156
EXAFS 147
Explosive 結晶化 105
E′ センター 114, 156

【F】

FE-SEM 136
FET 1
FPD 8, 211
FT-IR 162

【G】

g 値 156

【H】

Heil 5
High-k 132
HOMO 62

【I】

ICP 分析 151
ICTS 174
in-plane 測定 146
IR 155
IR 活性 165

【K】

K-cell 141
Kiessing fringe 140
Knudsen-cell 141
K 選択則 167

【L】

LCD 189, 211
LDD 構造 48, 94, 120, 186
Lechner 6
LEED 147
Lilienfeld 4
Lorentz モデル 138
LRO 142
LSS 理論 121
LUMO 62

【M】

MBE 132, 141
MIC 99
MILC 100
MIS 1
MISFET 1
MISI 構造 33
MOCVD 132
MOS 1
MOSFET 1
MRO 142

【N】
NBOHC 156
n 型 TFT 12
n 型半導体 20
【O】
OEL 8
OLED 8
OLED ディスプレイ 197
out of plane 測定 146
【P】
PAS 157
PAT 46
Pawley 法 144
Pb センター 114,156
PDS 157
PECVD 76
Pendellosung fringe 140
PHCAP 法 173
PLD 132
PM 型駆動方式 7
PM 方式 191
poly-Si TFT 8,56
PSD 150
p 型 TFT 12
p 型半導体 20
【Q】
Q マス 154
【R】
RDF 142
RHEED 141
RIE 133
roll-to-roll プロセス 128
【S】
Scherrer 法 145
SE 159
Secco エッチング 149
SIMS 153
SLG 107
SOI 10
SPC 97
Spear 6
SPM 150
SRH 46
SRH 統計モデル 174
SRIM 122
SRO 142
Staebler-Wronski 効果 178
S 値 49
S パラメータ 49
【T】
Tauc-Lorentz モデル 138
Tauc ギャップ 160
Tauc プロット 160
TCO 67
TDDB 114
TDS 155
TED 148
TEM 104,136
TFT 1
TN モード 190
TOF-MS 154
TOF 52
topography 像 150
TO モード 167
TPD 155
TPJ 110
TRIM 122
TSCAP 法 173
【U】
Urbach energy 161
【W】
WDS 151
【X】
XPS 152
XRD 143
XRF 151
XRR 140
X 線回折 105,143
X 線光電子分光 152
X 線センサ 205
X 線反射率スペクトル 140
【Z】
ZnO 67,132

薄膜トランジスタ
Thin-Film Transistor
© 薄膜材料デバイス研究会 2008

2008年11月21日　初版第1刷発行
2010年 6 月25日　初版第3刷発行

★

検印省略

編　　者　薄膜材料デバイス研究会
発 行 者　株式会社　コ ロ ナ 社
　　代 表 者　牛 来 真 也
印 刷 所　新日本印刷株式会社

112-0011　東京都文京区千石 4-46-10
発行所　株式会社　**コ ロ ナ 社**
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo　Japan
振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ　http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-00802-9　　(金)　　(製本：愛千製本所)
Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる
落丁・乱丁本はお取替えいたします