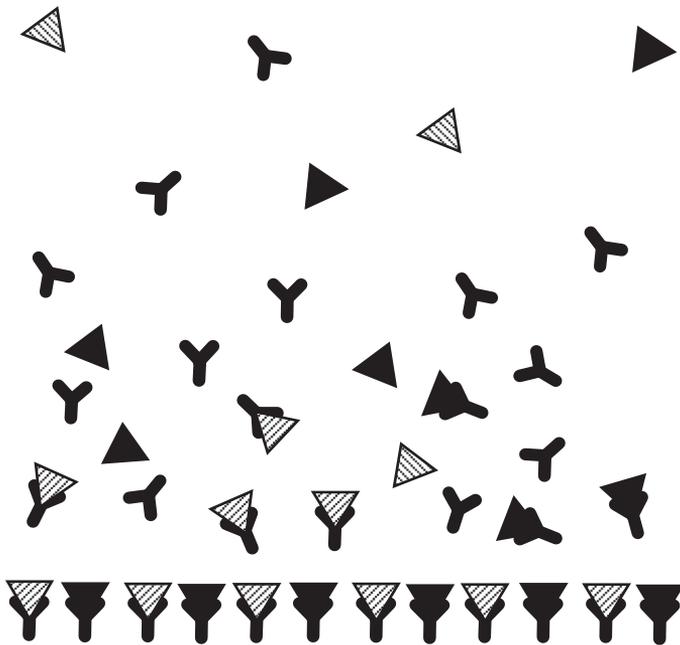




バイオ計測のための 材料と微細加工

バイオ計測のための材料と微細加工編集委員会 編



コロナ社

【バイオ計測のための材料と微細加工 編集委員会】

編集委員長 松永 忠雄 (鳥取大学)
編集幹事 鶴岡 典子 (東北大学)
編集幹事 小野寺 武 (九州大学)

【執筆者一覧 (執筆順)】

山口 明啓 (兵庫県立大学)

1.1.1 項, 1.1.3 項, 1.2.1 項, 1.2.3 項, 1.3.2 項, 2.1.4 項, 2.2.4 項, 2.3.4 項

池沢 聡 (東京農工大学)

1.1.2 項, 1.2.2 項, 1.3.1 項

土肥 徹次 (中央大学)

1.1.4 項, 1.2.4 項, 1.3.3 項, 1.3.4 項

松永 忠雄 (鳥取大学)

コーヒーブレイク (1 章), 3.2.2 項

神田 健介 (兵庫県立大学)

2.1.1 項, 2.2.1 項, 2.3.1 項

岩見健太郎 (東京農工大学)

2.1.2 項, 2.1.3 項, 2.2.2 項, 2.2.3 項, 2.3.2 項, 2.3.3 項

峯田 貴 (山形大学)

2.1.5 項, 2.2.5 項, 2.3.5 項, コーヒーブレイク (2 章)

林 育青 (Transcene Corporation)

2.1.6 項, 2.2.6 項, 2.3.6 項

鶴岡 典子 (東北大学)

3.1.1 項, 3.2.1 項, コーヒーブレイク (3 章), 4.1.1 項, 4.2.1 項, 4.3.1 項

津守不二夫 (九州大学)

3.1.2 項, 3.1.3 項, 3.2.2 項, 3.2.3 項, 3.3.2 項, 3.3.3 項

笠原 崇史 (法政大学)・水野 潤 (早稲田大学)

3.1.4 項, 3.2.4 項, 3.3.4 項

小野寺 武 (九州大学)

3.1.5 項, 3.2.5 項, 3.3.5 項, 4.1.2 項, 4.2.2 項, 4.3.2 項

和泉慎太郎 (神戸大学)

3.3.1 項

田畑 美幸 (東京医科歯科大学)

4.1.3 項, 4.3.3 項

野田 和俊 (立命館大学)

4.1.4 項, 4.3.4 項, コーヒーブレイク (4 章)

荒川 貴博 (東京工科大学)

4.3.5 項

(2022 年 8 月現在)

ま え が き

半導体微細加工技術を応用して作製された MEMS センサやアクチュエータ、もしくはそれらを組み込んだシステムはさまざまな分野で活用されている。例えば、高齢者医療、非侵襲・低侵襲医療や、健康社会、障害者に役立つ生活支援のためのデバイスと、そのデバイス開発に関わる要素技術への社会的関心は高まっている。医療分野を主とした分野で活用される体内埋め込み型デバイスや体表に装着し血圧や呼吸などを常時センシングするバイタルセンシングデバイス、また、生体から採取した微量なタンパク質を高感度分析するためのデバイスなど、バイオ計測デバイスは多くの種類がある。例えば、近年著しく発展している研究分野としてバイオ分野でのタンパク質や DNA、そして細胞分析のために、新しい樹脂材料や生体材料に対しても半導体微細加工技術が応用され、かつ平面や立体構造への加工も必要とされている。また、リアルタイムバイタルサインセンシングのためのウェアラブルデバイスでは、伸縮性や柔軟性を持ち、かつ電極にもなりうる生体親和性の高い材料を用い、生体へ密着し装着することが求められている。しかし、多層電気配線を有する立体基板の作製や、立体基板上への MEMS デバイスや電子部品の実装、新たな伸縮や柔軟の微細加工と MEMS デバイスとの実装など、技術的に開発途上であるものも多く、多くの技術課題を残している。

これらの課題解決や新たな応用分野での開拓を推進している研究は各研究技術分野で議論されてはいるが、微細加工技術や MEMS センサなどのデバイス、バイタルセンシングデバイスなどで用いられる柔軟材料、そして化学分野で利用される樹脂や生体材料への微細加工技術は、それぞれの学問や学会などのおのおので進められていると感じている。しかし、さまざまなデバイスを求められる分野で役立てていくには、今後はこれらの分野を融合した考え方や研究が求

められる。

本書では、微細加工や材料を専門とする本邦の比較的若手でありながら、今後当該研究分野を担うであろう研究者の方々に執筆をお願いし、これらの分野の融合領域の最新研究について熱い想いでまとめて頂いた。材料の種類で章立てし、「材料」の持つ特異的な現象についての理論的「原理」、「プロセス」の基礎と最新の技術、そして紹介した材料を用いた「応用」の構成とした。そうすることで、これから MEMS を学ぶ研究者（導入）から、応用分野を求め新しい価値を創造する企業の研究者（アウトプット）まで、さまざまな立場の MEMS 研究者の学びと応用につながり、役に立つ本として提供できればと願う。

当該出版にあたり、きっかけとなったのは電気学会センサ・マイクロマシン (E) 部門・調査専門委員会「立体構造や柔軟材料への微細加工、実装技術に関する若手研究者を中心とした調査専門委員会」に参加頂けた若手研究者の融合から始まった。たまたま委員長であった松永が当該書籍の編集委員長を仰せつかったが、編集幹事の九州大学の小野寺武先生、東北大学の鶴岡典子先生、そして九州大学の津守不二夫先生、兵庫県立大学の山口明啓先生には多くのコメントと激励を頂いており、共同監修といっても過言ではない。

2022年8月

編集委員長 松永忠雄

目 次

1. 半導体・金属材料

1.1 材 料 ・ 原 理	1
1.1.1 バイオ計測のための磁気センシング (スピントロニクスを利用した)	1
1.1.2 プラズモニクス	8
1.1.3 放 射 光	9
1.1.4 半導体材料, シリコン (Si)	11
1.2 プ ロ セ ス	12
1.2.1 スピントロニクスにおけるスピン操作の原理およびその制御方法	12
1.2.2 プラズモニクス関連技術	21
1.2.3 放射光・光プロセス	24
1.2.4 シリコンの微細加工	33
1.3 応 用	38
1.3.1 表面プラズモン局在波を利用する光センシング	39
1.3.2 放射光デバイス	41
1.3.3 カセンサ, 圧力センサ	45
1.3.4 カセンサを用いた血圧脈波センサ	49
引用・参考文献	52

2. 機 能 性 材 料

2.1 材 料 ・ 原 理	63
2.1.1 圧 電 材 料	63
2.1.2 光メタマテリアル	66

2.1.3	耐熱金属材料	70
2.1.4	磁性材料	71
2.1.5	形状記憶合金	75
2.1.6	金属ガラス	81
2.2	プロセス	82
2.2.1	圧電材料の微細加工	82
2.2.2	光メタマテリアルおよびメタサーフェスの微細加工	84
2.2.3	耐熱合金材料の微細加工	88
2.2.4	磁性材料の微細加工	92
2.2.5	SMA の微細加工	94
2.2.6	金属ガラスの微細加工	99
2.3	応用	101
2.3.1	圧電型エネルギーハーベスタ	101
2.3.2	メタサーフェスの応用	105
2.3.3	耐熱合金材料の応用	109
2.3.4	磁性材料を応用したデバイス	114
2.3.5	SMA を応用したデバイス	114
2.3.6	金属ガラスを用いた応用デバイス	119
	引用・参考文献	122

3. 高分子材料

3.1	材料・原理	131
3.1.1	インク・ペースト材料	132
3.1.2	プリントドエレクトロニクスに用いられる材料	135
3.1.3	ナノインプリントに用いられる樹脂材料	138
3.1.4	マイクロ流体有機 EL と液体有機半導体材料	138
3.1.5	自己組織化材料	142
3.2	プロセス	144
3.2.1	E-テキスタイルの作製技術	144
3.2.2	3次元構造および回路形成技術	147
3.2.3	ナノインプリント技術	150

3.2.4	マイクロ流体有機 EL の作製技術	151
3.2.5	自己組織化によるフォトニック結晶の作製技術	154
3.3	応用	157
3.3.1	E-テキスタイル	158
3.3.2	3D プリント技術の応用	165
3.3.3	ナノインプリントの応用	166
3.3.4	フレキシブル・白色 EL デバイス	167
3.3.5	自己組織化によるフォトニック結晶の応用	169
	引用・参考文献	172

4. 生体材料（タンパク質，酵素）

4.1	材料・原理	177
4.1.1	酵素電極の原理	177
4.1.2	表面プラズモン共鳴（SPR）バイオセンサ	179
4.1.3	金属酸化物材料による pH 計測原理	182
4.1.4	水晶振動子を利用した微量計測の基礎	185
4.2	プロセス	191
4.2.1	酵素のプリンティング技術	191
4.2.2	SAM を用いた SPR センサ表面の作製	194
4.3	応用	196
4.3.1	酵素プリンティングを用いた高感度乳酸センサ	196
4.3.2	SPR バイオセンサによる低分子化合物の計測	198
4.3.3	マイクロ pH センサ	202
4.3.4	水晶振動子を利用した計測	207
4.3.5	バイオセンサによる生体計測技術	212
	引用・参考文献	221

索引	227
-----------	------------

1 半導体・金属材料

1.1 材料・原理

バイオ計測には、ウイルスやタンパク質の検出や、生体のリアルタイムバイタルサインセンシングとしての血圧計測など、対象とする分野が幅広い。本章ではシリコン（silicon, Si, ケイ素, 原子番号 14 の元素）を代表とする半導体材料やナノスケールの金属粒子を用いた各種バイオ計測の原理について紹介する。

1.1.1 バイオ計測のための磁気センシング（スピントロニクスを利用した）

おもに細胞に対するバイオ計測としては、蛍光色素による染色や免疫抗体測定などが一般的にはよく用いられる^{1)†}。近年では、新しい染色手段として金属ナノクラスターや金属ナノ粒子による表面増強ラマン散乱等を用いた計測手法なども提案されてきた²⁾。なかでも目新しいのが、窒素空孔を有するナノスケールのダイヤモンドを用いた単一蛍光発光あるいは磁気センシングである^{3),4)}。バイオ計測における磁気センシングは、これまでは量子干渉計（SQUID）を用いた脳磁計や小型磁気センサ（グラジオメータなど）を用いた心磁計などであったが、ダイヤモンドを用いた磁気計測によって細胞レベルのバイオ計測も可能となっている。また、磁性ナノ粒子を用いたがん転移部位を手術中に調べる方法やデバイスなどの研究開発も進められている^{5),6)}。

† 肩付き数字は、章末の引用・参考文献の番号を表す。

2 1. 半導体・金属材料

現在、情報の大規模ストレージを担っているのはハードディスク (hard disk drive, HDD) である。コンピュータの記憶装置としてよく実装されていた HDD であるが、近年は SSD (solid state device) に置き換わりつつある。その一方で、HDD は、社会インフラとなっているクラウドのバックボーンとして利用されることが多くなっている。その理由は、高密度記録による 1 bit あたりの単価が安いことと、SSD と比較するとその容量では HDD が優位に立っているためである。現在では、2018 年時点で $1 \text{ Tbits}/\text{in}^2$ に到達しており、単純計算で 1 bit のサイズが約 $25 \text{ nm} \times 25 \text{ nm}$ 程度である。インフルエンザウイルスの直径が約 50 nm と言われており、1 bit あたりのサイズがウイルス程度である。

このように微小な磁気記録を読み取るためには、**巨大磁気抵抗効果** (giant magneto-resistance, GMR)^{7)~12)} の発見が大きな寄与をした。GMR は、後述するように、スピン依存散乱によって発現する現象であり、室温で大きな磁気抵抗を示す。GMR の研究開発が進み、新しい磁気抵抗現象としてトンネル磁気抵抗効果 (tunnel magneto-resistance, TMR) が発見され^{13),14)}、さらにバンド選択性を有するコヒーレント・トンネル効果による巨大 TMR 素子が開発された^{15)~20)}。その研究開発の成果として、今日の HDD の大容量化が実現するに至った。

さて、HDD で用いられる微小領域でかつ超高感度な磁気センサとなる TMR 素子をバイオ計測に利用すると、心磁計や脳磁計への展開が考えられる。その一例として、**図 1.1** に TMR を利用した心磁計測の例を示す。Fujiwara らは、四つの TMR センサからなるフルブリッジ回路を形成し、アンプとフィルタを組み合わせて、 $1.8 \mu\text{V}_{\text{p-p}}/\text{nT}_{\text{p-p}}$ を実現し、心磁計測に成功した²¹⁾。

この磁気センサを構成する TMR 素子は、Si/SiO₂ 基板上に超高真空スパッタで作製されている。膜構成は、Ta(5)/Ru(10)/Ni₈₀Fe₂₀(70)/Ru(0.9)/Co₄₀Fe₄₀B₂₀(3)/MgO(1.6)/Co₄₀Fe₄₀B₂₀(3)/Ru(0.9)/Co₇₅Fe₂₅(5)/Ir₂₂Mn₇₈(10)Ta(5)Ru(30) (括弧の中の数字は膜厚を示し、単位は nm である) となっている。磁気トンネル接合 (magnetic tunneling junction, MTJ) のサイズは、 $210 \times 105 \mu\text{m}^2$ である。

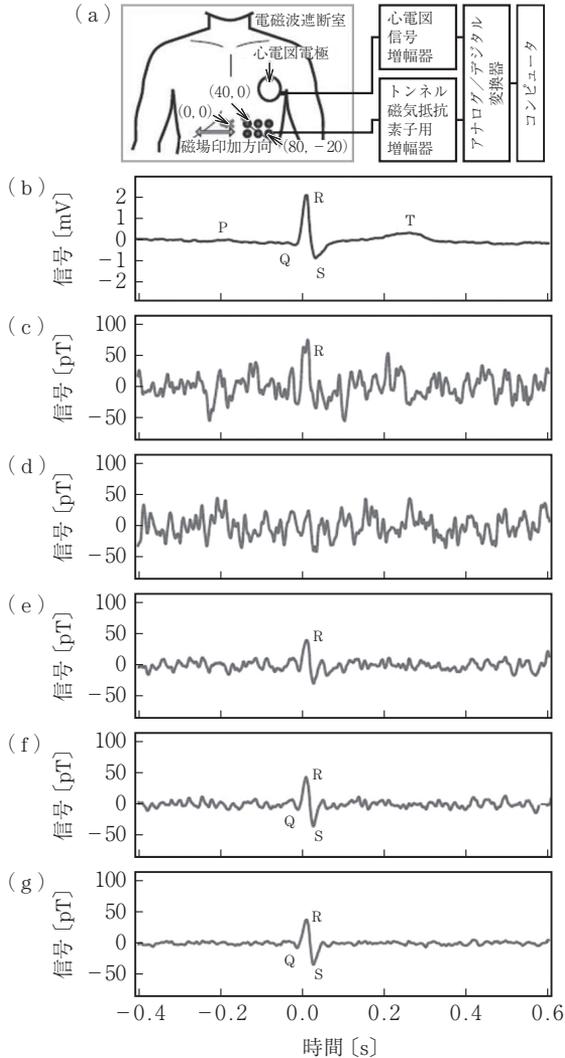


図 1.1 (a) TMR センサを用いた心磁計測に関する実験セットアップ概要, (b) 参考のための心電図信号, (c) R ピークが検出されたときの積算平均しない場合の心磁信号, (d) ピークがない場合における積算平均なしの心磁信号, (e) 8 回, (f) 16 回, (g) 64 回積算平均したときの心磁信号²¹⁾

複雑な膜構成をしているが、TMRを呈するのはMgOであり、コヒーレントなMTJを形成することで、スピン依存散乱による巨大な磁気抵抗を呈する。NiFeとCoFeBは磁化フリー層であり、非常に小さな外部磁場変化に対して磁気応答する層である。両者の層の間にRuを挿入することで反強磁性結合させており、磁化反転特性はNiFeの厚みで制御することができる構造になっている。MgOを介した上部のCoFeB/Ru/CoFe/IrMn層は、反強磁性体であるIrMn層がピン止め層となっており、全体として磁化固着層として機能する。

TMRもGMRも多層膜における層間の磁化配置がスピン依存散乱の原因となるので、それらを磁気センサとして用いる場合には、磁化を固着して外乱に強くした層と外乱になるべく敏感に反応する磁化フリー層という二つの磁気的な層が対となって構成されることになる。このような原理に基づいて、図1.1に示したように、TMRを用いることで心磁計測も可能であり、脳磁計についても同様に研究開発が進められている。

以下、バイオ計測とは少しずれるが、GMRやTMRに関する原理などについて概説する。GMRには、スピン依存散乱と量子井戸干渉という二つの大きな特徴がある。前者のスピン依存散乱は、電子スピンの依存した散乱過程であり、身の回りにある金属やそのほか、電流が流れるような材料であれば、必ず起きている現象である。ここで重要なのは、GMRを発現するために、スピン依存散乱が顕著に発現する条件とはなにかを考えることである。

電子は電荷のほかにはスピン量子数の情報を有している。しかし、スピンの情報が顕著に表れないのは、バルク材料において、電気伝導の際に散乱が多すぎてスピンの情報が保持されていないことが原因の一つである。磁気センサとしての性能向上とスピン計測の原理という点から、スピンの情報をいかにして取り出すかという点について以下では、簡単に説明する^{6), 22)~24)}。

〔1〕 **スピン偏極電流** 強磁性体には磁区構造があり、この磁区構造内では磁気モーメントが一方向にそろっている(2.1.4項を参照)。磁気モーメントは電子殻とその混成によって形成されており、スピンの情報を含む電子の波動関数に起因する。金属材料において、電気伝導を担うのは通常はs電子であ

る。磁性材料において磁気特性を発現する磁気モーメントは、局在した電子軌道で軌道磁気モーメントとスピンを合わせた全角運動量である。希土類元素では4f電子に由来する電子軌道が局在磁気モーメントとなり、遷移金属元素では3d電子軌道が局在磁気モーメントを担う。特に、Fe, Ni, Coに代表される遷移金属では、s-d混成が生じており、電気伝導を担う電子のスピンの状態はs-d相互作用を介して伝導電子に移行されている。つまり、遷移金属の磁性材料においては、一つの磁区内では磁気モーメントの方向もそろっており、それに準じた伝導電子のスピンの状態もそろった状態である。これはスピン偏極した伝導電子が担う電流ということになるので、**スピン偏極電流** (spin-polarized current) と呼ばれる。このスピン偏極電流は、強磁性体の磁化を一方向にそろえて、そこに電流を流すことで取り出すことができる。

さて、このスピン偏極電流は、どのくらいの距離を進むまでスピン偏極した情報、つまりスピン量子数を保つことが可能であろうか。電気伝導というのは、散乱過程を伴うので、現象論的には、緩和時間近似で取り扱われることが多い。そのスピン散乱緩和時間からスピン平均自由行程を算出すると、材料などにもよるが数nmから数 μm 程度である。すなわち、非常に微小な距離でしか、スピン量子数を保持して伝導することができない。

そこで、強磁性/非磁性/強磁性構造を人工格子で創製することができれば、そのスピン依存散乱を直接的に検出できるのではないかと考えたのが、Fert⁷⁾やShinjo²⁵⁾である。それ以前にもGrünbergetらによる層間交換結合という現象が発見されており⁸⁾、強磁性/非磁性/強磁性という井戸型スピン波動関数における量子干渉効果が強磁性層間の結合方向を担っていることが示されていた^{9)~12), 26)}。

〔2〕 **GMRの構造** GMRは、強磁性/非磁性/強磁性構造を図1.2のように多層積層することで実現する。この金属多層膜は、半導体の超格子に対して金属人工格子と呼ばれる概念および研究分野を創製した。金属人工格子は、X線光学素子などへの応用もあるが、ここでは特に磁性材料、スピントロニクスという観点からの記述を行う。特にGMRでは電気抵抗を取り扱うので、以

索 引

	【あ】		【き】		【さ】
圧 延	96	機能性材料	63	コンタクトプリンティング	191
圧電材料	63	逆オパール型フォトニック			
アマalgam合金	207	結晶	155	【さ】	
アモルファス構造	81	逆オパール構造	155	サーマルヒステリシス	80
アンペロメトリー	179	急冷凝固	96	作用極	178
		強磁性共鳴	20		
【い】		強磁性材料	74	【し】	
イオノフォア	183	局在型表面プラズモン共鳴	8	ジェットディスプレイ	145
一方向性変形型	77	巨大磁気抵抗効果	2	自己血糖測定装置	213
イムノグロブリン G	181	金属ガラス	81	自己組織化	142
インクジェット	145	金属共振型メタサーフェス	85	自己組織化単分子膜	180
インクジェット法	147			示差走査熱分析	79
インモールドエレクトロニクス	135	金属酸化物材料	183	磁性材料	71
		金属導波路型メタサーフェス	86	常磁性材料	74
				触覚ディスプレイ	116
【う】		金属ナノインク	132	シリコン	1
ウェットエッチング	33	筋電図	160	真空陽極接合	116
				心電図	159
		【く】		【す】	
【え】		グリーンシート	82	水酸化カリウム水溶液	35
永久磁石	71	グルコースオキシダーゼ	177	水晶振動子	185
液体有機 EL	140	グルコース脱水素酵素	213	スクリーン印刷	145
エッチファクタ	95			ストップバンド	157
エナジーハーベスタ	101	【け】		ストレッチャブル電極	158
エラストマー	132	形状記憶合金	75	スパッタ成膜	96
円筒リソグラフィ	119	血糖値センサ	213	スピン偏極電流	5
				【せ】	
【お】		【こ】		生体模倣構造	166
オーステナイト相	76	交換相互作用	72	全反射減衰法	9
		合成高分子	131		
【か】		構造色	154	【そ】	
化学気相成長	21	酵素電極	177	走査プローブ顕微鏡	39
カテーテル	118	高分子	131	双 晶	75
過冷却液体領域	81				
間接競合法	198				

相補性決定領域	181		ホログラフィ	105	
ゾル-ゲル法	144				
		【は】			
【た】		バイアスばね	78		
耐熱材料	70	バイオセンサ	177	【ま】	
太陽熱光発電	109	ハイブリドーマ	182	マイクログリッパ	114
単斜晶	79	ハプテン	181	マイクロバルブ	115
		反強磁性材料	74	マイクロポンプ	115
		反応性イオンエッチング	35	マイクロ流体有機 EL	141
				膜応力	115
【ち】		【ひ】		マグノン	21
置換法	198	ピエゾ式	191	マルテンサイト変態	76
窒化チタン	70	光造形法	147		
チップ増強ラマン散乱	39	光ナノインプリント法	138	【め】	
超弾性合金	77	比透磁率	66	メタアトム	68
直接法	198	非特異吸着	194	メタ原子	68
		比誘電率	66	メタサーフェス	68
【て】		表面開始原子移動ラジカル		メタ表面	68
デオキシリボ核酸	203	重合	196	メタマテリアル	66
デヒドロゲナーゼ	178	表面増強赤外吸収	40	メタレンズ	105
電解エッチング	94	表面増強ラマン散乱	39		
電解研磨効果	95	表面プラズモン共鳴	40, 179	【も】	
電界発光	139			モスアイ表面	166
天然高分子	131			モノクローナル抗体	182
		【ふ】		モールドイング	99
【と】		ファイラー	134		
ドライエッチング	33	フォトニック結晶	154	【ゆ】	
トランスデューサ	177	プラズモン	8	有機 EL	138
		ブラッグの法則	154	有機エレクトロニクス	140
【に】		フラッシュ蒸着	96	誘導結合プラズマ RIE 装置	
二光子重合光造形法	147	プリンテッドエレクトロニクス	132		35
二方向形状記憶効果	77	プリント基板	149	誘電体メタサーフェス	86
		フレキシブル基板	149		
【ね】		プレーナ素子構造	118	【よ】	
熱可塑性樹脂	131			溶体化処理	97
熱硬化性樹脂	131	【へ】			
熱式	191	ペプチド結合	181	【り】	
熱ナノインプリント法	138			リキッドバイオプシー	203
熱溶解積層法	147	【ほ】		立方晶	79
		ポテンショメトリー	179	リフトオフ	94
【の】		ポリクローナル抗体	182	リボ核酸	203
能動カテーテル	118	ポリジメチルシロキサン	158	菱面体晶	79
脳波	160				

【ろ】

ロータス効果 166

【A】

AIE 170
ATR 9

【B】

BSA 181

【C】

CCH 181
cell-free DNA 203
CGM 213
CIP 6
CPP 6
CVD 21

【D】

DBP 152
DCRA 41
DNA 203
DW 18

【E】

ECG 159
EEG 160
EHCz 140
EL 139
EMG 160
EUVL 10
E-テキスタイル 144

【F】

FGM 214
FPC 149

【G】

GAN 164
GDH 213
GMR 2

【H】

HDD 2

【I】

IC 10
ion-sensitive field effect transistor 183
IOPC 155
ISFET 183

【K】

KLH 181

【L】

LIGA 24
light addressable potentiometric sensor 183
LSPR 8
LSTM 164

【M】

MEMS 11
MEMS マイクロ流体デバイス 141
microRNA 203
MID 149
Molded Interconnect Device 149
MTJ 2

【N】

NiW 合金 70

【O】

OVA 181

【P】

PDMS 158
PE ループ 65
PG-RCA 204
PLQ 140
PLT 140
PMMA 25
Primer-generation rolling-circle amplification 204
PTFE 12
PV 33

【Q】

QCM 186
QOL 205

【R】

real-time PCR 203
real-time Polymerase chain reaction 203
RIE 35
RNA 203
RNN 164

【S】

SAM 180
SEIRA 40
SERS 39
SI-ATRP 196

SLA	147			TNT	199
SMA	75		【T】		
SMA コイル	96	TADF	140	【U】	
SMA ワイヤ	96	TEGCz	140	UV	9
SMBG	213	TERS	39		
SOI	38	TiNiCo	80	【v】	
SPM	39	TiNiCu3 元合金	80	VAE	164
S-Q	109	TiNiFe	80		
SRR	67	TiNiV	80	【数字】	
STPV	109	TiNi 合金	77	3D プリンタ	135
supercooled liquid region	81	TMAH	35	3 元系 SMA	80
		TMR	2	4D プリント	137

松永 忠雄 (まつなが ただお)
1994年 佐賀大学理工学部電気電子工学科卒業
1994年 曙ブレーキ工業株式会社 勤務
1996年 東北大学大学院工学研究科出向
2002年 博士(工学)(東北大学)
株式会社曙ブレーキ中央研究所 勤務
2003年 独立行政法人科学技術振興機構 勤務
2004年 東北大学助教
大学発ベンチャー メムザス株式会社設立 取締役(兼業)
2017年 東北大学特任准教授
2019年 鳥取大学准教授
現在に至る

鶴岡 典子 (つるおか のりこ)
2010年 東北大学工学部機械知能・航空工学科卒業
2012年 東北大学大学院医工学研究科修士課程修了(医工学専攻)
2015年 東北大学大学院医工学研究科博士課程修了(医工学専攻)
博士(医工学)
2015年 東北大学助教
現在に至る

小野寺 武 (おのでら たけし)
1996年 富山国際大学人文学部社会学科卒業
1998年 金沢大学大学院教育学研究科技術教育専攻修了
2001年 金沢大学大学院自然科学研究科数理情報科学専攻修了
博士(工学)
2001年 九州大学助手
2007年 九州大学助教
2014年 九州大学准教授
現在に至る

バイオ計測のための材料と微細加工

Materials and Microfabrication for Biosensing

© バイオ計測のための材料と微細加工編集委員会 2022

2022年10月13日 初版第1刷発行



検印省略

編 者 バイオ計測のための材料と微細加工
編 集 委 員 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
製 本 所 有限会社 愛千製本所

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 <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-07278-5 C3047 Printed in Japan

(新井)



©COPY <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。