

# エレクトロニクスデバイスの開発をめざして



研究室紹介

杉野 隆\*

Development of electronic devices

Key Words : electronic device, low dielectric constant, insulating film, boron carbon nitride, biosensor, ion exchanger, impedance measurement

現在の高度情報化社会は電気エネルギーを基盤としたエレクトロニクス、オプトエレクトロニクス技術の発展により創出されたといっても過言ではない。今後は益々、生命にかかわる安全性の確保、健康管理などをサポートする技術開発が望まれる。これを推進する一方法は対象物の状態を速やかに検知し、その情報を基にして対応策を与えるシステムの構築である。これを支える基盤技術としてもエレクトロニクスやオプトエレクトロニクスデバイスは必要不可欠な要素技術であることは明白であり、今後、更なる技術の高度化が求められている。また、我が国が技術立国として進んでいくためには世界をリードする先進技術を維持、展開していくことが重要となる。

本講座は電気電子情報工学専攻の量子電子デバイス工学部門に属するエレクトロニクスデバイス講座(量子電子機能材料デバイス工学領域)で、青木秀充准教授、木村千春助教の協力を仰ぎ、様々なエレクトロニクス、オプトエレクトロニクスデバイスの高性能化に関する研究を材料、プロセス、デバイス構造の面から進め、将来の研究者、技術者の育成を目指した教育を行っている。研究室内では常に研究におけるオリジナリティーの追求および直面する現象の物理的な理解に取り組む重要性を強調しながら指導に当たっている。

現在、我々が注目している研究内容は(1)次世代シリコンLSIの性能向上に不可欠な多層配線用低誘電率絶縁体膜の研究開発、(2)低消費電力照明の実現を目指した高性能フィールドエミッタの研究開発、(3)微小試料に対応できる高速高感度バイオセンサーの研究開発、(4)パワーデバイスの高性能化に関するプロセス技術の研究開発、そして(5)無効エネルギーを電気エネルギーに変換する電力発生デバイスの研究開発である。ここでは次の2つの研究内容を以下に紹介する。

## 研究のトピックス

### (1) 低誘電率絶縁体膜(Low-K膜)の研究開発

シリコンLSIの集積化が進むにつれ、多層配線が不可欠であり、図1に示すように配線金属と絶縁体膜の多層構造が用いられている。このため配線金属の電気抵抗(R)と絶縁体膜の容量(C)によりRCの時定数で決まる電気信号の遅延が生じ、LSIの特性劣化を引き起こす。この問題を解決するため、配線金属を従来のアルミニウムから電気抵抗率の低い銅に変更され、絶縁体膜も低誘電率化が試みられてきた。誘電率2.6~2.7をもつSiOC膜が現在、実用

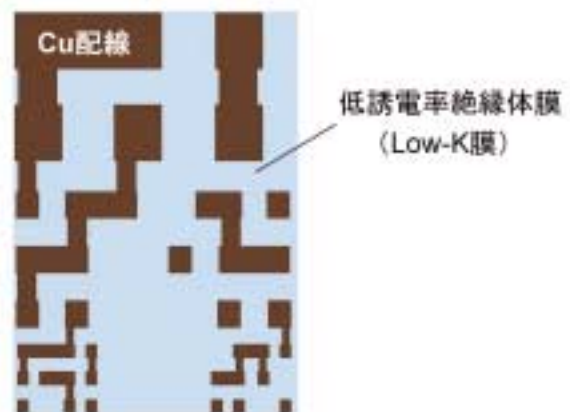


図1 LSIの多層配線構造の概略図



\*Takashi SUGINO

1949年6月生  
 大阪大学大学院工学研究科電気工学修士  
 課程修了(1974年)  
 現在、大阪大学大学院 工学研究科 電  
 気電子情報工学専攻 教授 工学博士  
 半導体材料デバイス  
 TEL : 06-6879-7697  
 FAX : 06-6879-7774  
 E-mail : sugino@eei.eng.osaka-u.ac.jp

化されているが、2.0以下の誘電率を達成するため研究開発が進められている。低誘電率化の方法として実用実績のあるSi系絶縁体膜のポーラス化が試みられているが、シリコンプロセスへの導入には解決すべき課題が残されている。

我々はSi系材料を用いず、異なった材料の開発を目指した。軽元素で構成でき、機械的強度を有する絶縁体膜を検討した結果、三塩化ホウ素と窒素ガスを原料ガスとしてリモートプラズマアシスト化学気相合成法により、窒化ホウ素(BN)膜の合成に着手した。窒素原子が持つ大きな電気陰性度により電子分極の抑制が期待でき、また、アモルファス膜の合成により原子密度の低減を図り、低誘電率化を目指した。一方、BN膜は吸湿性を有することが知られていたが、炭素(C)原子を添加することにより耐水性が格段に改善されることを見出し、この問題を解決した。また、開発当初、C原子の添加はBN膜のアモルファス化にも役立つことが分かり、アズグロンのBCN膜で2.2~2.4程度の低誘電率を達成した。このBCN膜内にはまだ二重結合など、大きな配向分極を有する原子結合が存在していたため、それを排除することにより更なる低誘電率化が期待できた。シリコンプロセスに導入可能な温度(400℃以下)でのアニール処理や紫外線照射により、誘電率1.9を達成した。膜の強度も約30GPaを有し、ドライエッチングによる加工性も良好であり、現在、評価試料の提供を目指して大口径基板上へのBCN膜合成装置の開発を進めている。

BCN膜の更なる低誘電率化および合成技術の簡略化を目指して新規材料ガスの導入を検討した。B、C、N元素を含む有機物で比較的扱いが容易な材料としてトリスジメチルアミノボロン( $B[N(CH_3)_2]_3$ )を用いてBCN膜の合成を試みた。図2はプラズマパワーを変化させて合成したBCN膜の誘電率を示したものである。プラズマパワーの減少に伴う誘電率の低下を見出し、アズグロンBCN膜で1.9以下の低誘電率を達成した。図中にトリスジメチルアミノボロンの1構造式を示す。低プラズマパワーで合成することによりBCN膜にメチル基が存在することをフーリエ変換赤外吸収測定により確認しており、このメチル基の存在が低誘電率化に有効であると考えている。

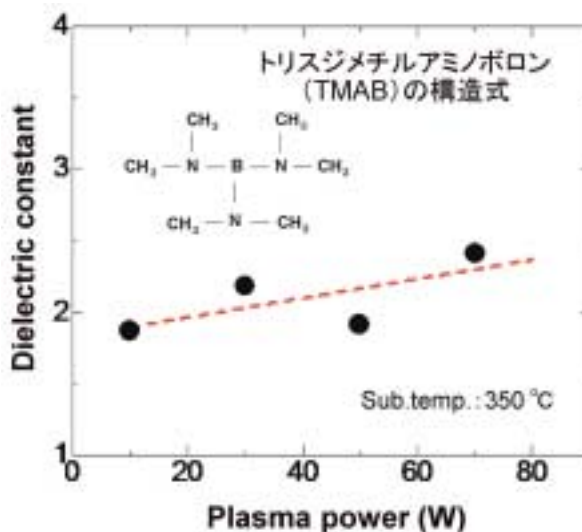


図2 BCN膜合成時のプラズマパワーによる膜の誘電率変化

(2) イオン交換膜を用いたバイオセンサーの研究  
健康管理や食の安全性確保に簡単に使用できるセンサーの開発、実用化が重要と考えられる。従来、細菌の検知には採取したテスト試料を培養し、その後、測定を行わなければならない、その場で瞬時に情報を得ることができない場合がしばしば起こる。我々は微量のテスト試料で瞬時に高感度の測定可能なセンサーの開発に主眼を置き、電気的特性変化を検知する方法を検討している。図3に示すようなポーラス構造を有するイオン交換体のバイオセンサーへの応用を初めて試みた。従来の粒子状のイオン交換樹脂とは異なり、プロトン置換状態で比較的低インピーダンスを示すため、検知物質のプロトンとの交換によりその場でインピーダンスの変化が期待できる。

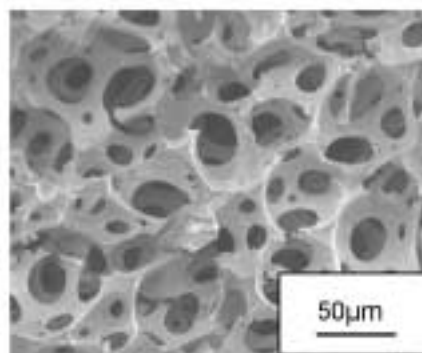


図3 バイオセンサー用に研究しているポーラス型イオン交換体

これまで基礎実験として、先ず、無機イオン ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  など) の検知を試みた。図4はイオン交換膜 (膜厚 65 mm) に  $1 \times 10^{-3}$  mol のイオンを含むテスト試料を作用させた場合のインピーダンスと測定周波数の関係を示している。イオン置換によりインピーダンス変化が起こる。この変化量から図5に示すようにイオン濃度の検知が可能になる。 $10^{-7}$  mol レベルまでの検知が可能であると見出されている。無機イオン以外にアミノ酸や枯草菌の検知も試みている。図6はアミノ酸の1つであるフェニルアラニンを検知した結果である。無機イオンと同様に  $10^{-7}$  mol レベルまでの低濃度の試料でも検知可

能な様子が見られる。更に、枯草菌の一種である納豆菌を用いて検知可能性を調べた。図7に示すように、培養することなく  $800$  匹/ml 程度の細菌数の検知が行える結果を得た。単一物質を有する試料の評価には本研究成果を十分活用することができると考えられるが、一般的には複数の物質を含むテスト試料における特定物質の評価が求められる。このため特定物質に対応できる機能を付加したセンサーデバイスの開発が不可欠であり、デバイス構造の検討や特定物質に作用する酵素の導入、固定化についての研究も進めている。

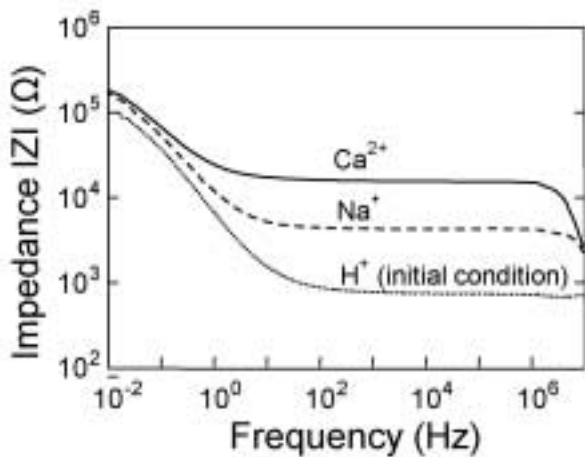


図4 無機イオンに対するイオン交換樹体のインピーダンスと測定周波数の関係

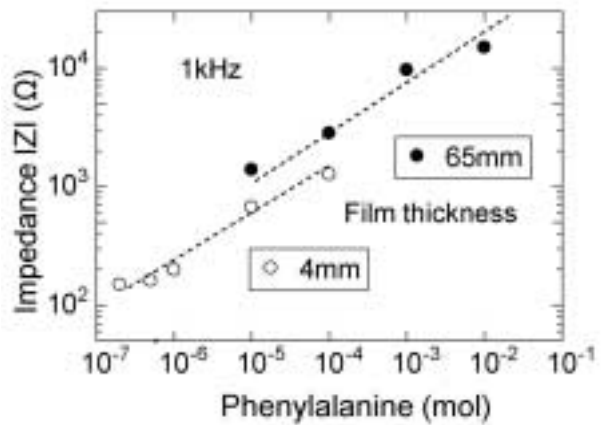


図6 フェニルアラニン (アミノ酸) 濃度に対するインピーダンスの依存性

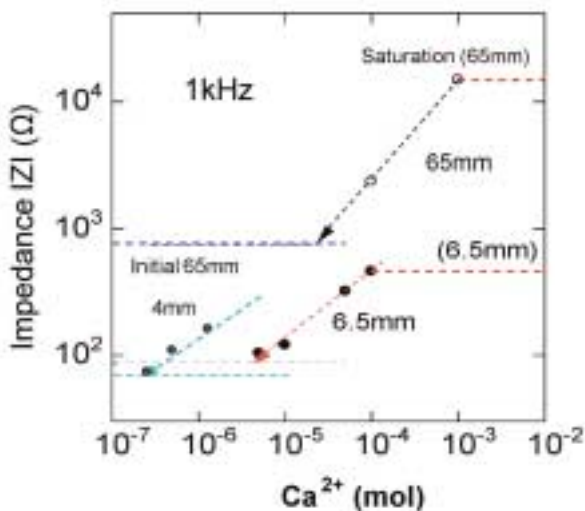


図5  $\text{Ca}^{2+}$  イオン濃度に対するインピーダンスの依存性

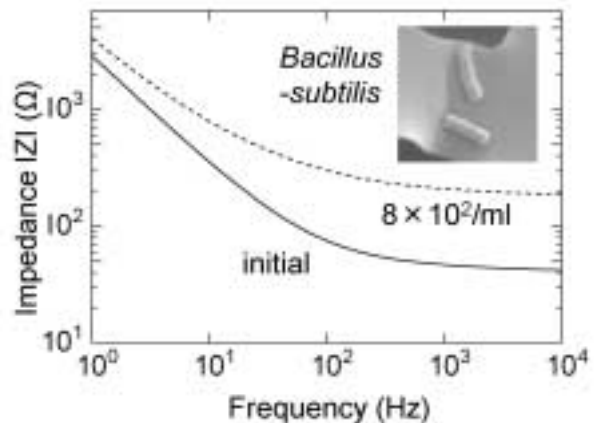


図7 納豆菌 ( $800$  匹/ml) に対するインピーダンスの測定周波数変化