

# シリコン基板埋め込み超小型リチウム 2 次電池

法政大学大学院工学研究科 栗山一男 湯浅友樹

大阪教育大学 串田一雅

## 1. 本研究の位置づけ

近年、半導体デバイスの微小化が進められており、それに伴い MEMS(微小電気機械システム)などの応用研究が行われるようになりました。MEMS は電子演算回路と機械的動作部分を単一のシリコン基板上に集積化したデバイスです。これらのデバイスは微細化が進められている一方、電源の小型化はほとんど研究されておらず、動作電力は外部からの配線や電磁波に頼っています。これでは、外部から電力を供給できないような環境、例えば人体深部などの閉ざされた空間においてはバイオ MEMS などを動作させることができません。自立型の MEMS の実現には、半導体デバイスとの整合性を考慮した、微小電源供給システムを作成する必要があります。また、シリコンデバイスに直接電源を埋め込むことができれば、CMOS のバックアップ電源などに応用することもできます。本研究では、シリコンデバイスと一体化した超小型リチウム 2 次電池の試作を行いました。

## 2. リチウム負極を用いた超小型リチウム 2 次電池の作成

シリコン基板と一体化した 2 次電池を作成するため、シリコン基板上に電氣的絶縁層で囲まれた幅  $100\ \mu\text{m}$  × 長さ  $200\ \mu\text{m}$  の溝を切削しました。溝の底面はポリシリコン層を形成しており、正極層の集電体(電極)の役割を果たします。基板の走査型電子顕微鏡(SEM)画像を図 1 に示します。溝に、ゾル ゲル・スピコーティング法[1]により正極材料スピネル型  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  層を埋め込みました。この上に、固体電解質として多孔質  $\text{SiO}_2\text{-}15\text{at.}\%\text{P}_2\text{O}_5$  ガラスを製膜しました。負極には、真空蒸着法により形成したリチウムを用いました。リチウムは大気中で容易に酸化するため、アルミニウムを保護膜として連続蒸着しました。図 2 に、(a)ガラス電解質表面、(b)シリコン基板埋め込み形リチウム 2 次電池の模式図および(c)走査型電子顕微鏡(SEM)写真を示します。この電池は、Al 集電体/Li/SiO<sub>2</sub>-15at.%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ポリシリコン集電体が 3 個並列に接続された電池です。この電池の充放電測定を行い、 $34.6\ \mu\text{Wh}/\text{cm}^2$  のエネルギーを供給できることを確認しました[2]。

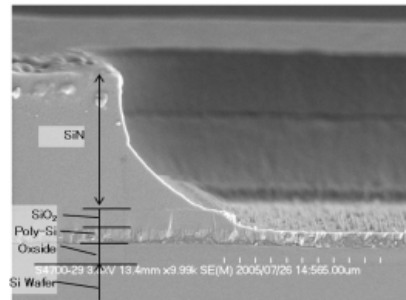


図 1 埋め込み用シリコン基板の断面 SEM 写真

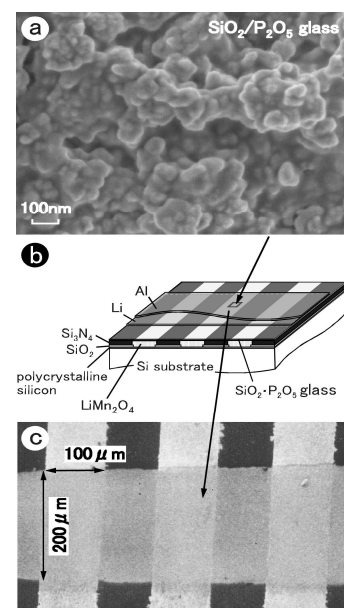


図 2 (a)多孔質ガラス電解質の SEM 写真、(b)シリコン基板埋め込み形リチウム 2 次電池の模式図および (c) SEM 写真

### 3．シリコン負極を用いた超小型リチウム2次電池の作成

リチウムを負極として用いた場合は 3861mAh/g もの大きな理論容量を有することが知られています。しかし、その一方で大気や水分と容易に反応するために不安定性が問題とされています。そこで近年では、大容量負極の代替材料としてシリコンが注目を集めています[3]。シリコンは 4000 mAh/g 程度の理論容量を有し、これは前述のリチウムと同等以上の値を示しています。本研究では、さらに構造を安定化し、より微小な電池を作成するためにシリコンを負極として用いて2次電池を作成しました。

前述の溝構造シリコン基板（図1参照、ただし、溝の面積は  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ ）と同様の基板を用いて、シリコン負極を用いた2次電池を作成しました。正極集電体として用いていたポリシリコン層を負極として代用し、溝に固体電解質として多孔質  $\text{SiO}_2\text{-15at.\%P}_2\text{O}_5$  ガラスを、さらに正極として  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  を埋め込みました。正極集電体には Au を蒸着により形成しました。この電池の充放電測定を行い、 $5.83\text{ nAh/cm}^2$  の放電容量を確認しました。

### 4．研究成果と今後の展望

シリコンを基板上に絶縁壁を有する溝を形成し、ポリシリコンを負極として代用することで、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$  サイズのシリコン負極超小型リチウム2次電池を作成しました。ここで提案した電池埋め込み技術（特に、シリコンを負極として用いた場合）はシリコン VLSI プロセスと良い整合性を示しています。現状では放電容量や特性が十分とはいえませんが、このシステムをバイオ MEMS などに利用することができれば、自立型のカプセル内視鏡のような新しい MEMS デバイスを作成することができるかもしれません。また、軽量・高信頼性の2次電池として幅広く利用できる可能性があります。現在、これらの MEMS 用電源としての実用化を視野に入れ、放電容量の改善に取り組んでいます。

### 文献

[1] Hundred-micron-sized all-solid-state Li secondary battery arrays embedded in a Si substrate.

K. Kushida, K. Kuriyama and T. Nozaki, Appl. Phys. Lett. 81, 5066 (2002).

[2] Cyclic surface morphology change related to Li ion movement in Li secondary microbattery embedded in Si substrate:

Atomic force microscopy studies. K. Kushida and K. Kuriyama, Appl. Phys. Lett. 84, 3456 (2004).

[3] Properties of amorphous Si thin film anodes prepared by pulsed laser deposition.

H. Xia, S. Tang, L. Lu, J. Power Sources 42, 1301(2007).

（問い合わせ先）

法政大学大学院工学研究科電気工学専攻 栗山一男

電話：042-387-6185

電子メール：kuri@ionbeam.hosei.ac.jp