



夢はバラ色

光化学蒸着法(光CVD)

— 新機能材料を創製する新しい方法 —

中松博英*, 河合七雄**

半導体技術の進歩の速さには目を見張るものがある。子供たちがそろばんをおもちゃにして叱られていたのはいつ頃のことだったのか、電卓は一瞬のうちに普及し、パソコンやファミコンを操る子供たちの姿が日常のこととみられるようになってきた。この急激な発展を支えたのは、シリコンに望みの形状や電子物性をもたせて大量に生産する技術であった。性能が向上し、集積度が上がるにつれて、そのプロセス技術は精緻を極め、それでも一層思いど通りに制御できる技術が求められ続けられている。制御性の高い技術を望む声は、半導体産業ばかりでなく、記録材料やセラミックス材料など高機能・高性能化、材料の複合化を行う広い分野で聞くことができる。こういう背景の中で、注目を集め、進展を見せているものの一つに光CVDがある¹⁾。光を利用することによって、合成の低温化、反応制御の改善、膜質向上、被覆性向上、直接描画など期待される点が多い。

光を利用するといかに制御性が良いか、手品のような実例を図1に示す²⁾。左右の白点の間に、

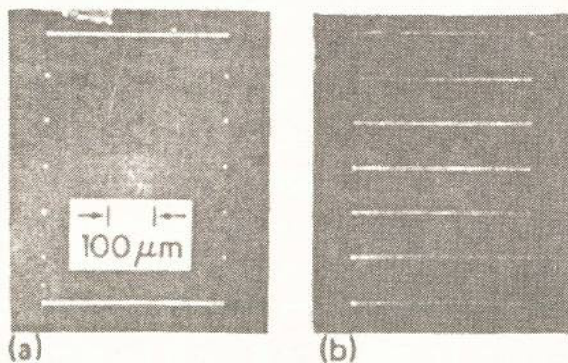


図1 光CVD法による直接描画

*中松博英 (Hirohide NAKAMATSU), 大阪大学産業科学研究所, 教務職員, 理学修士, 固体化学

**河合七雄 (Shichio KAWAI), 大阪大学産業科学研究所, 教授, 理学博士, 固体化学

絞ったレーザービームをすばやく走らせるが、そこには何も見えない(a), 次に(b), 全面に一様な光を照射すると、左右を結ぶ直線が浮かび上がってくる。光照射により原料ガスから亜鉛を析出させているのであるが、最初の線書きで顕微鏡で見えない小さな結晶をつくり、次の全面的な光照射で結晶の成長を行う。光の強度を選んでやると新たな結晶の発生が起こらず、すでにある結晶の上のみ析出が進行する。結晶の成長よりも結晶核の発生の方が必要とするエネルギーがわずかに大きいので、その境界の強度の光エネルギーを注いでやることで、結晶成長だけを選択的に進行することができるというわけである。

光CVD法の応用の一例として、炭化ケイ素に秘められた機能を引き出す可能性について述べよう。ニューセラミックスとして盛んに研究開発されている炭化ケイ素は、さらに良い結晶を手に入れることができれば、耐熱性・高性能半導体として利用できる。シリコントランジスタが百数十℃で動かなくなるのに比べ、炭化ケイ素でトランジスタをつくれば400℃まで動作することが確かめられている³⁾。この応用例を自動車に見ることができる。エンジンを制御するICは、現在、エンジンから遠く離されて電線で結ばれているが、炭化ケイ素のトランジスタが実用化すれば、エンジンのすぐそばでその状態を感知するので信頼性がよくなる。現代の自動車はICによる制御が増えているので、高温で動作する炭化ケイ素を利用する効果は大きいと考えられる。そのほか、産業機器などの過酷な条件下で用いられるもの、大きなパワーを取り扱うものの高性能化、軽量化、信頼性向上が可能になるだろう。

炭化ケイ素半導体は、シリコンやGaAsよりも大きな電力や高い周波数が取り扱える点で良

い性能を持つと見積られている。つまり、通信機器などの性能向上に貢献できるであろう。また、炭化ケイ素は青色の発光ダイオードへの応用が一部行われている。炭化ケイ素の結晶が良くなり発光の効率が改善されれば、既存のダイオードと合わせて3原色がそろうのでカラーテレビのブラウン管にとって代わることが可能となる。

このように夢多い炭化ケイ素であるが、実用への道りは遠い。最も大きな障害は、炭化ケイ素結晶を作製する温度が高すぎることである。合成温度が高くなることは、高融点・高強度材料に共通の問題である。ここで、光エネルギーを利用することによって合成温度が下げられれば、結晶性向上、基板との接合強度増大などが行える。炭化ケイ素の場合、蒸発法で合成すると2000°C近い高温を必要とし、CVD法を用いても、1300°C以上に基板を加熱しなければならない。半導体用の炭化ケイ素をCVD法で作る場合、結晶性のよい基板を用いる必要がありシリコンやサファイアが候補となるが、高温では基板の蒸発や炭化ケイ素との反応が大きくなり、良い炭化ケイ素薄膜を得るためには、大きな障害となる。我々のグループでは、レーザー光を用いることによって、これまで成功していなかったサファイア上の炭化ケイ素エピタキシャル薄膜を得ている。⁵⁾ その反応装置を図2に示す。反応系の種々の改良とともにレーザーを用いたこ

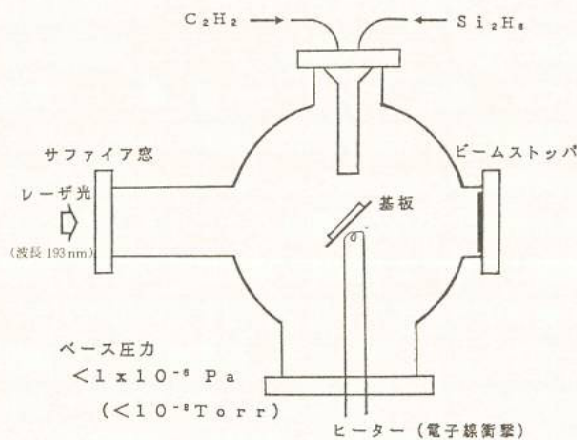


図2 超低压レーザーCVD装置

とにより、1150°Cの低温でエピタキシャル膜を得た。熱CVDでは、この温度で多結晶薄膜し

か得られず、もっと高い温度では、基板から薄膜が脱落してしまう。

異なる性質を持った結晶を接合することによってデバイスが作られる。不純物制御によって作製されるp型とn型半導体を接合することによりダイオードやトランジスタを作ることはよく知られているが、もともと異なる電子状態を持つ結晶の接合の研究も超格子デバイスなどを目指して盛んである。超格子は、低ノイズ・高速トランジスタや高強度・短波長レーザなどを構成する新しい電子材料として注目を集めている。最近では衛星放送の家庭での受信機にその一種であるHEMTが用いられている。薄膜作製の超精密な制御が必要であるために、これほど早く家庭用に用いられるとは開発者もおそらく予想していなかったと思われる。これは精密なプロセッシングが要求される現状の一例である。

超格子デバイス作製に光を利用することも考えられよう。光のオン・オフにより異なる性質を持った結晶が成長すればよい。異なる結晶とは、組成の異なる化合物や、同じ組成でも構造の異なるものであればよい。炭化ケイ素の場合、成長の温度を変えることによって、6H型基板の上に3C型結晶を作っているし、異なる組成の結晶、つまり、シリコン基板に炭化ケイ素を重ねて、異種半導体の間の接合を得ている。現在のところ熱CVD法では作製温度が制限となって多層重ねることは困難であるが、光CVD法により低温化が望めるのであれば、可能性がある。アモルファスの場合はもともと低温で合成することができ、光CVD法により界面特性が改善されるので良好なa-Siとa-SiCの超格子がつくられ、効率の高い太陽電池が報告されている(図3)⁶⁾。我々のグループではレーザー照射により、熱CVD法で作られている3C型炭化ケイ素とは電子状態の異なるものが見いだされており、光のオン・オフにより超格子ができる可能性を探りながら研究を進めている。

光を利用した薄膜作製あるいはプロセッシングは、大きな期待の中で急激に研究者が増加したが、現在第1のピークは過ぎ、従来法との比

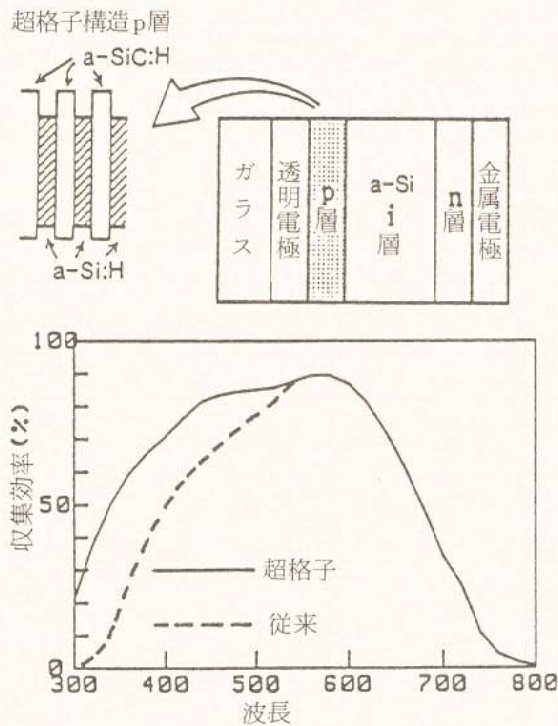


図3 p層超格子太陽電池の収集効率

較や実用化する上での検討など冷静な評価を受ける段階にある。光を照射すればよいものができるという期待の先行した段階から、今は、光が効果を最も発揮するための条件を整えることを目指し、どのようなメカニズムで光が関わっているのか考察することが必要となっている。例えば、微細なパターンを描くためには、光量

に対して非線形な反応速度を持ち、ガス中よりも表面で反応が進むような系を組み立てるとよいことが明らかとなって、解像度が上がった。このような基礎的考察の中から、表面で起こる過程の理解が必要であることがクローズアップされてきた。表面に吸着した化学種の光化学反応そして、表面拡散や脱離の光照射による促進が実際にどのように起こっているのか、どうすれば光CVD反応に有利に働くのかを研究することが切望されている状況である。基礎的研究が進み、アイデアの見直しを行うことによって光CVD法が実用に用いられる数が飛躍的に伸びる第二のピークを向かえることが期待できる。

文 献

- 1) M. Hanabusa, Mater. Sci. Reports, 2, 51 (1987).
- 2) D. J. Ehrlich, R. M. Osgood, Jr. and T. F. Deutsch, 38, 946 (1981).
- 3) S. Yoshida, K. Endo, E. Sakuma, S. Misawa, H. Okumura, H. Daimon, E. Muneyama and M. Yamanaka, 1987 Spring Meeting of MRS.
- 4) 松波弘之, 応用物理, 48, 565 (1979).
- 5) H. Nakamatsu and S. Kawai, 1987 Spring Meeting of MRS.
- 6) 中野昭一, 樽井久樹, 松山隆夫, 津田信哉, 桑野幸徳, レーザ学会第115回研究会報告, 21p.

