



半導体製造に革新的なプロセスをもたらした 化学増幅レジスト高分子材料の開発

| | |
|---------------|--|
| グラント・ウイルソン 博士 | 1939年3月30日生まれ(73歳) テキサス大学オースチン校 教授 |
| ジャン・フレシエ 博士 | 1944年8月18日生まれ(68歳) アブドラ国王科学技術大学 副学長 |

概要

過去半世紀に渡る半導体の技術革新を支える最も重要な基盤技術が、半導体に微細な回路を刻むリソグラフィです。グラント・ウイルソン博士、ジャン・フレシエ博士は、80年代初頭に故伊藤洋博士と共にリソグラフィに用いられるレジスト開発に取り組み、化学増幅レジストという新たな基盤技術を開発しました。3博士が共同で開発したレジストを用いることで、深紫外線 (deep UV:波長254nm) という波長の短い光を利用したリソグラフィが実現。この化学増幅レジストを改良することによって、半導体回路の最小幅が250nm以下の次世代集積回路の時代は切り開かれたのです。化学増幅レジストは、現代の先端技術である極端紫外線 (EUV:波長1~10nm) や電子線を用いたリソグラフィにおいても重要な技術であり、新たなエレクトロニクス産業界の発展を支える基盤技術ともなっています。

半導体集積回路の発展を支えた フォトリソグラフィの進歩

60年代に誕生した半導体集積回路(IC)は、使用される素子の密度を高めることで進歩してきました。米インテル社の共同創業者であるゴードン・ムーアが1965年に発表した論文を基に語られるようになった「ムーアの法則」では、「集積回路上のトランジスタ数は24カ月ごとに倍になる」と予測。それは現実のものとなり、高度な情報化社会を誕生させました。

集積回路の進歩に貢献した、最も重要な基盤技術がリソグラフィと呼ばれる微細加工技術です。「リソ」は石を意味し、「グラフィ」は描くことを意味しますが、半導体リソグラフィもシリコンウエハー上に、微細な電子回路を描く技術といえます。

半導体製造に用いられるリソグラフィのプロセスを示したのが図1です。まず、加工するシリコンウエハーに回転塗布によりレジストと呼ばれる高分子の膜を形成します。レジストに光を当てると内部に光化学反応が起こります。レジストには現像液と呼ばれる溶媒で溶けやすくなるものと、溶けにくくなるものがあります。

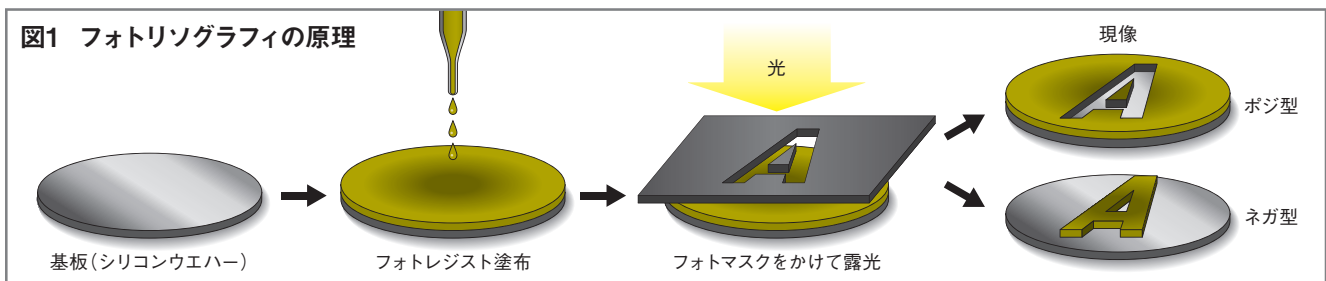
そのため、回路パターンが描かれたフォトマスク

を通してレジストを露光して現像すると、レジストにはマスクパターンに相当するレジストパターンが描かれます。そして、レジストに覆われていない部分を化学薬品やプラズマを利用して加工するのがエッチングという工程です。最後に、研磨によってレジストを除去すれば、設計図どおりの回路が構築されたシリコンウエハーが得られるというわけです。なお、レジストにはポジ型とネガ型があり、露光領域が現像液に溶解する場合はポジ型、露光領域が溶解せずに残る場合はネガ型となります。

レジストの性質は、集積回路の素子密度を高める上で非常に重要な役割を果たします。初期のレジストには、光化学反応を持つ既知の高分子が用いられていましたが、より露光感度が高く、微細な回路を描くための解像度を持ち、エッチング耐性が優れた材料を求めて、新たなレジスト材料が合成されるようになりました。

光化学反応で生まれた触媒が 連鎖反応を引き起こす

70年代後半、米カリフォルニア州のシリコンバレーの中心都市サンノゼにあるIBM研究所では、新たなレジスト材料の開発に取り組んでいました。このときレ



ジスト開発のトップであったのがグラント・ウイルソン博士でした。

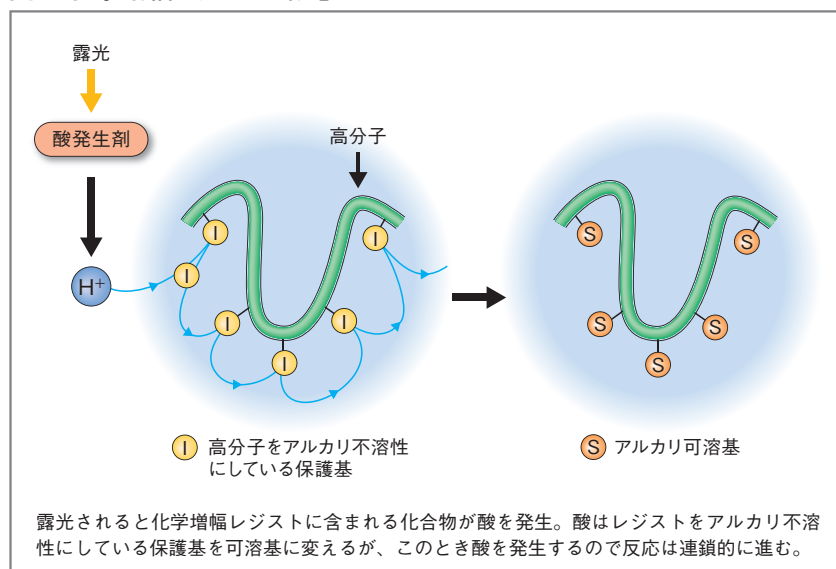
半導体リソグラフィの解像度を高める方法の一つは、レジストの露光に用いる紫外線の波長を短くすることですが、波長が短くなるとレジストの露光感度が大幅に低下し回路が描けなくなるという問題がありました。光を用いたリソグラフィは限界に近づいているとして、電子線リソグラフィなどが提唱されましたが、コスト面の問題があり、従来のリソグラフィが持つ能力をギリギリまで引き出す努力が行われていたのです。

このときウイルソン博士が立てていた目標は、それまで使用されてきた高圧水銀灯で得られる最も短い254nm領域の波長の深紫外線を用いたリソグラフィを実現するためのレジストの開発でした。目標達成のため、1979年にはカナダのオタワ大学の准教授で高分子の機能研究を行っていたジャン・フレシエ博士がサバティカル制度(注：大学教員などが研究に専念するために一定期間与えられる長期有給休暇制度)を利用し参画。以後、レジスト開発のパートナーとなりました。また翌年、ニューヨーク州立大学で多糖体の合成などの研究をしていた、故伊藤洋博士(没年2009年)が博士研究員としてウイルソン博士の下で働くことになりました。

ウイルソン博士、フレシエ博士、故伊藤博士を中心とした研究チームが、レジストの感度を上げる手法として注目したのは、化学増幅レジストでした。化学増幅レジストでは、まず露光によってレジスト内部に活性種と呼ばれる触媒を発生させます。この触媒がレジスト内部で連鎖的な化学反応を起こすことで、わずかな光が当たっただけでもレジスト高分子の性質を一気に変化させることができると考えられていました。研究者のなかには、化学増幅レジストでは無秩序な連鎖反応が起こるため、露光感度が上がっても解像度は逆に低下すると指摘する者もいましたが、彼らは挑戦してみることにしたのです。

研究チームでは、試行錯誤をくり返すなかで、1980年にはレジストの合成においても露光においても非常に安定した反応をもたらすレジスト材料を開発。そして1982年発表した論文では、活性種として酸を発生し、その酸が高分子を露出に用いられるアルカリ溶媒から守る保護基を次々と変化させる化学増幅レジストを提唱(図2)。実際に合成され、半導体製造に用いられた最初の化学増幅レジストは、酸により

図2 化学増幅レジストの概念



t-ブトキシカルボニル(tBOC)がはずれて、ポリヒドロキシスチレン(PHS)が生成される(脱保護反応)ポリマーでした。

半導体技術に立ちはだかる壁を克服した化学増幅レジスト

このとき開発されたレジストは、その後のポジ型レジストの原型となり、さまざまな化学増幅レジストが開発されるようになりました。IBMでは集積回路の最小幅が1 μ mの1メガビットDRAM生産から化学増幅レジストを用いましたが、一般的には次世代DRAMと呼ばれる最小幅250nmのリソグラフィから利用が進みました。ウイルソン博士、フレシエ博士、故伊藤博士は、その後も化学増幅レジストに関する共同研究を続け、半導体リソグラフィの進歩に貢献しました。ウイルソン博士、フレシエ博士は、研究領域を高分子が持つさまざまな機能研究に広がっています。

化学増幅レジストは、現在の半導体露光装置の主役である波長248nmのKrFエキシマレーザーを用いたリソグラフィにおいても活躍しています。また、次世代半導体技術として注目される極端紫外線リソグラフィや電子線リソグラフィにおいても重要な役割を果たしており、現在でも新たなエレクトロニクス産業界の発展を支える基盤技術となっています。

振り返ってみれば、70年代に指摘されていた半導体リソグラフィの限界を乗り越える原動力となったのが3人の科学者によって実現された化学増幅レジストでした。化学増幅レジストの登場によって、エレクトロニクス産業はムーアの法則どおりの発展を成し遂げることができたといえるでしょう。