

2.2 集積回路用プラズマ CVD 用励起方式

2.2.1 技術課題と解決策

集積回路用プラズマ CVD 技術における課題のうちで特にプラズマ励起方式の課題に絞って、代表的な特許 59 件を抽出して、解析を行った。ただし、シリコン LSI への応用には限定せず、アモルファスシリコンを用いた薄膜トランジスタ、液晶表示素子、太陽電池、光電変換素子等への応用に関する特許も解析の対象とした。

化学的蒸着を行うためのプラズマを生成するための励起方式としては、さまざまなものが利用されるが、表 2.2.1-1 に示すように、(1) ECR プラズマ、(2) マイクロ波プラズマ、(3) 誘導結合型、(4) 容量結合型の 4 種に分類することができる。これらの方式の中の複数を組み合わせたものは、主体となる励起方式に注目して分類した。これらの分類は図 1.2.2-2 に示した分類に対応する。ただし、図 1.2.2-2 における ECR プラズマを(1) ECR プラズマと(2) マイクロ波プラズマの 2 つに分割して解析した。

表 2.2.1-1 半導体応用におけるプラズマ CVD の励起方式の解析結果

大分類：励起方式	中分類：課題	件数
(1) ECR プラズマ	基本構造	5 件
	その他	2 件
(2) マイクロ波プラズマ	環状導波管	5 件
	基材対向導波窓	11 件
(3) 誘導結合型	平板単巻コイル	4 件
	平板複巻コイル	7 件
	立体構造コイル	5 件
(4) 容量結合型	プラズマ電位制御	5 件
	複数高周波、変調	7 件
	磁界併用、短波長化	8 件

これらの励起方式において共通の課題は(1) 基材大面積化への対応、(2) 制御性の向上、の 2 つである。これらの課題の少なくとも一方に対して、それぞれの励起方式ごとにさまざまな解決策が検討されている。

2.2.2 技術発展図

(1) ECR プラズマ

図 2.2.2-1 に ECR プラズマに関する技術発展図を示す。

この方式は、マイクロ波空洞共振器の外部から磁界を付与して電子サイクロトロン共鳴になる放電プラズマを励起する方式で、高密度のプラズマが得られる。

例えば、特公昭 62-43335 (日本電信電話公社) ではプラズマ発生室に成膜用原料ガスを導入して効率的な活性化を行えと、さらに放電に印加する磁界を、基材に向かって発散磁界となるように付与して基材に対するプラズマの分布を改良している。

ECR プラズマでは、一般的にプラズマの分布が局在しやすいので、プラズマ発生室で形成されたプラズマを成膜室に導入する際に、いかに基材に対して均一に分布させられるかが課題となっている。

この課題に対しては、例えば特開平 6-112161（日立製作所）にみられるように、導波管そのものを分布に有利な形状で設けたり、特開平 9-148097（日立製作所）のように、成膜室との境界に設けた誘電体の導波窓の分散効果や補助反射板を設けた構成による分散効果等を利用した提案などがある。

この方式に対しては日立製作所の出願が多い。

（２） マイクロ波プラズマ

図 2.2.2-2 にマイクロ波プラズマに関する技術発展図を示す。

この方式では、一般的には 2.45GHz のマイクロ波を用いてプラズマの生成がなされる。これにより、例えば 13.56MHz の高周波放電を用いる場合に比較して、プラズマ励起や原料ガスの活性化等の効率が良いとされている。しかし、この方式でも ECR プラズマと同様に、基材に対するプラズマ分布の均一化が課題となる。この課題の解決のため、成膜室へのマイクロ波の導入方法にさまざまな提案があり、それらを大別すると、環状の導波管を用いた導入方法と、基材に対向して設けられた導波窓からの導入方法とに分類される。

まず、成膜室に環状の導波管を用いて成膜室の周囲から分別したマイクロ波を導入する方法としては、例えば特許 2886752（キヤノン）に、環状導波管の内面（成膜室側）にマイクロ波の管内波長の 4 分の 1 の間隔で設けた複数のスロットを介してマイクロ波を成膜室内に導入する方法が提案されている。

次に、導波窓からの導入方法として、マイクロ波導波方法として誘電体平板導波路を用いたものに特公平 5-44798（住友金属工業） 特開平 8-316198（住友金属工業）等がある。後者では、400mm スクエアの大型液晶基材にも適用できる、均一なプラズマ分布が得られる構成が提案されている。

導波窓を利用する方法としては、これ以外にも、導波方法として空洞共振器を用いたもの（特許 2800766：日立製作所）等がある。

環状導波管方式ではキヤノンの、また導波窓では住友金属工業の出願が多い。

（３） 誘導結合型

図 2.2.2-3 に誘導結合型に関する技術発展図を示す。

従来のこの方式では、例えば特開昭 63-174321（クリストファー デビッド ドブソン<イギリス>）にみられるように、成膜室の外周を周回した立体構造の誘導コイルに高周波電力を印加し、誘電体の窓を介して成膜室内に高周波電力を導入して、プラズマを生成する方式が主流であった。

しかしこのような方式では、コイルの近傍においては高い密度のプラズマを生成することが可能であるものの、大きな領域に均一なプラズマを生成することが困難であるという問題がある。これに対して、例えば特開 2000-58297（ラム リサーチ<米国>）にみられるように、基材に対向する成膜室天井の誘電体の外部に設けた平板型のコイルから高周波を導入する構成が提案されている。

この平板型コイルに分類される出願においても、高周波電力の導入効率の改善やプラズマ密度の向上等を目的として、さまざまなコイルの構成方法の提案がなされている。それらを大別すると、単巻コイルと複巻コイルとに分類される。

単巻コイルには、前出の特開平 2000-58297 (ラム リサーチ<米国>) 以外にも、特開平 11-124677 (東京エレクトロン) のように、アンテナ室を設け低誘電率体を配して、電力効率・他を改良した出願がある。

複巻コイルには、特開平 8-148476 (ソニー) のようにプラズマ分布を考慮して 2 ~ 3 個のコイルを配した構成の提案がある。また、特開平 9-102471 (ソニー) は、金属膜の形成に際して高周波導入誘電体窓が金属層で覆われて放電が止まる欠点を、容量結合型のアンテナも併設して改良した構成を提案している。

一方、立体構造コイルには、従来の周回した誘導コイルを用いる方式以外に、並行ロッド方式 (特開平 10-189293 : アネルバ) や基材に対向する成膜室壁の成膜室内に突出させて設けた凹状誘電窓内に同軸の 2 重コイルを配したもの (特開平 10-233297 : サーフェイス テクノロジー システムズ<イギリス>) 等があり、これらはいずれも基材近傍でプラズマが発生できるメリットがある。

なお、誘導結合型の 1 つの問題点として、高周波電力導入のための誘電体窓が損傷を受けることがあげられる。この対策として、特開平 9-129397 (アプライド マテリアルズ<米国>) には、容器の外周からコイルを一定距離だけ離す方法が提案されている。

前述のように、(1) ECR プラズマ、(2) マイクロ波プラズマにおいては特定の日本企業の出願が主体であったが、誘導結合型においては出願企業の範囲が広がり、特に、ラム リサーチ、アプライド マテリアルズ等の米国の半導体製造装置メーカーによる出願が目立つ。

(4) 容量結合型

図 2.2.2-4 に容量結合型に関する技術発展図を示す。

この方式では、単純な平行平板電極を使用してプラズマを生成することが可能であり、今回の解析対象期間以前から最も多用されてきた励起方式である。しかし、低圧でのプラズマ維持が困難である、プラズマ密度が低い、基材に対する損傷が発生する、等の問題点が指摘されていた。これに対して、大別して、() プラズマ電位を制御する、() 複数の高周波を印加する、もしくは印加する高周波の電力を変調する、() 磁界を併用する、もしくは、従来一般的に使用されていた周波数 13.56MHz の高周波に比較してより短波長の高周波を利用する、等の対策が提案されている。

プラズマ電位の制御に関しては、例えば特許 2990668 (日新電機) は、プラズマ室と成膜室を電位的に隔離して両者間にパルス印加して、基材に対する過剰なプラズマの影響を回避する方法を提案している。

複数の高周波を印加するものとして、例えば同一電極に 2 つの周波数の高周波を印加するもの (特公昭 59-30130 : 富士通) がある。これは、使用する高周波の周波数によって堆積される膜の特定が異なることに注目し、2 つの周波数の高周波を混合して印加することによって所望の膜質を得ようとするものである。

印加する高周波電力を変調するものとしては、AM 変調するもの (特許 2588388 : 半導体エネルギー研究所) パルス変調するもの (特公平 7-93273 : 日新電機) パルス変調でそのデューティー比を変えるもの (特開平 7-37818 : 日本真空技術) サイン波による AM 変調 (特開平 7-142400 : 日新電機) とさまざまな提案がある。これらは、高周波の印加を間欠的に行うことによって、プラズマ内での反応が必要以上に進行することを防止しようと

するものである。

磁界の併用としては、ミラー磁界を用いたもの（特許 3088446：キヤノン）やマグネトロン磁界を用いたもの（特許 3088447：キヤノン）が提案されている。これらはいずれも、プラズマを磁界によって閉じこめ、プラズマ密度を高めながら、基材への損傷を低減しようとするものである。ただし、最近では磁界の併用に関する出願件数は少なく、次に説明する短波長化に、開発の中心が移っているものと推定できる。

印加する高周波を短波長化するものとしては、例えば特開平 8-333684（キヤノン）は、50MHz ないし 300MHz の高周波を使用することが、特開平 11-340211（日本電気）には 100MHz ないし 1,000MHz の UHF を使用することが提案されている。このように短波長の高周波を利用することにより、プラズマ密度を高め、ガスの利用効率を高めたり、電子エネルギー分布をそろえ、特定の活性種のみを生成したり、シース電圧を下げて基材損傷を低減したりすることが可能である。また、このような短波長の高周波を効率よく印加するため工夫も提案されている。例えば特開平 11-297496（アネルバ）は同軸線の改善が提案されている。また前述の特開平 11-340211（日本電気）ではスポークアンテナの利用が提案されている。

このように、従来から使用されてきた容量結合型においても、複数の高周波の印加や印加高周波電力の変調、もしくは、印加高周波の短波長化によって、プラズマ特性（もしくはプラズマ内での反応）に対する制御性向上が図られている。

なお、このような複数高周波の印加や印加高周波電力の変調、および印加高周波の短波長化は、前述の(3) 誘導結合型においても、さらに複数高周波の印加や変調は(1) ECR プラズマにおいても、いずれも制御性向上の手段として提案されている。

容量結合型に対しては、さまざまな企業からの出願がなされている。また、誘導結合型の場合に比較すると少ないが、外国企業からの出願もなされている。

図 2.2.2-1 ECR プラズマ技術発展図

出願年

'80

'95

年月は出願月または優先権主張月

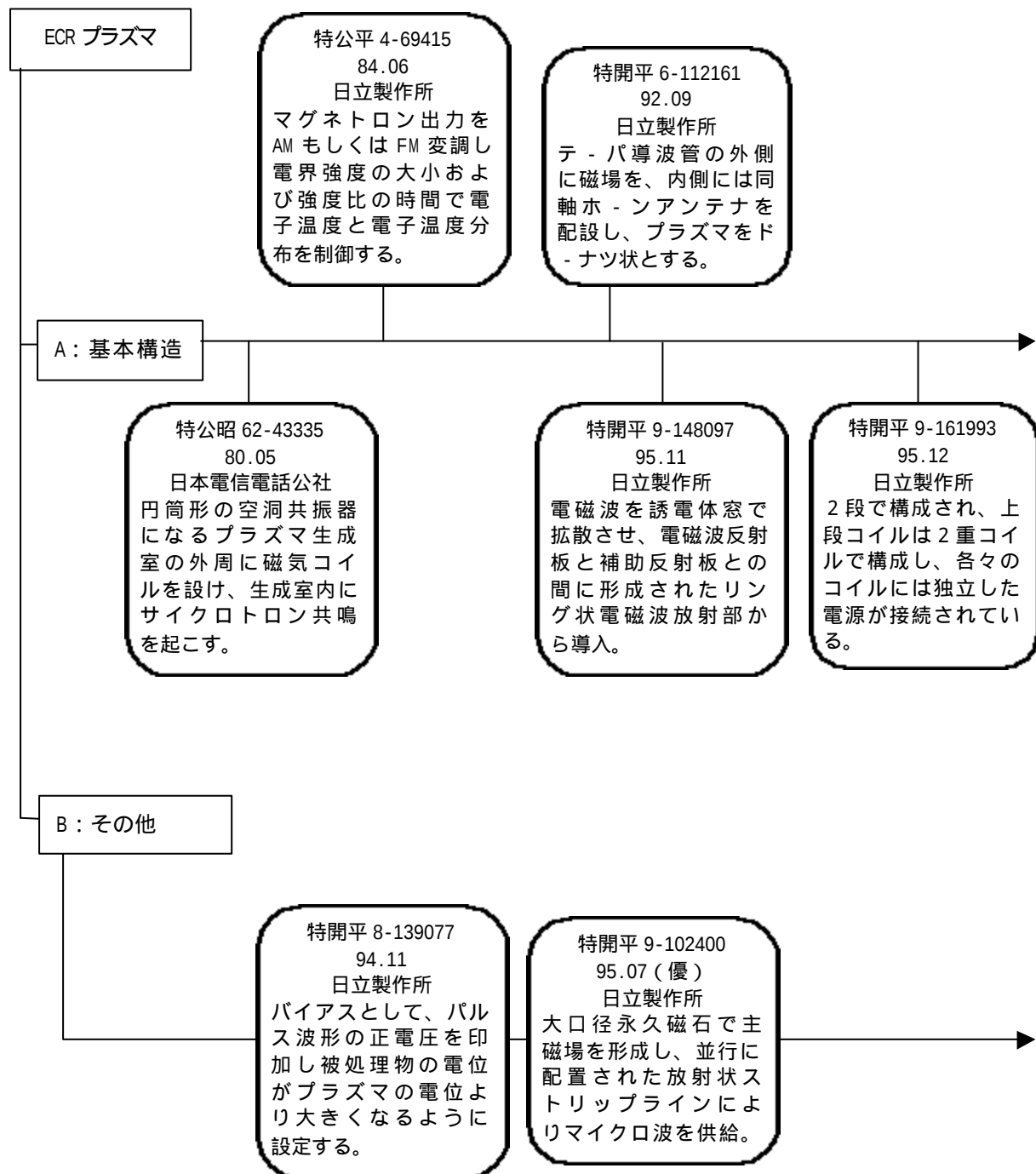


図 2.2.2-2 マイクロ波プラズマ技術発展図 (1/2)

出願年

'85

'95

年月は出願月または優先権主張月

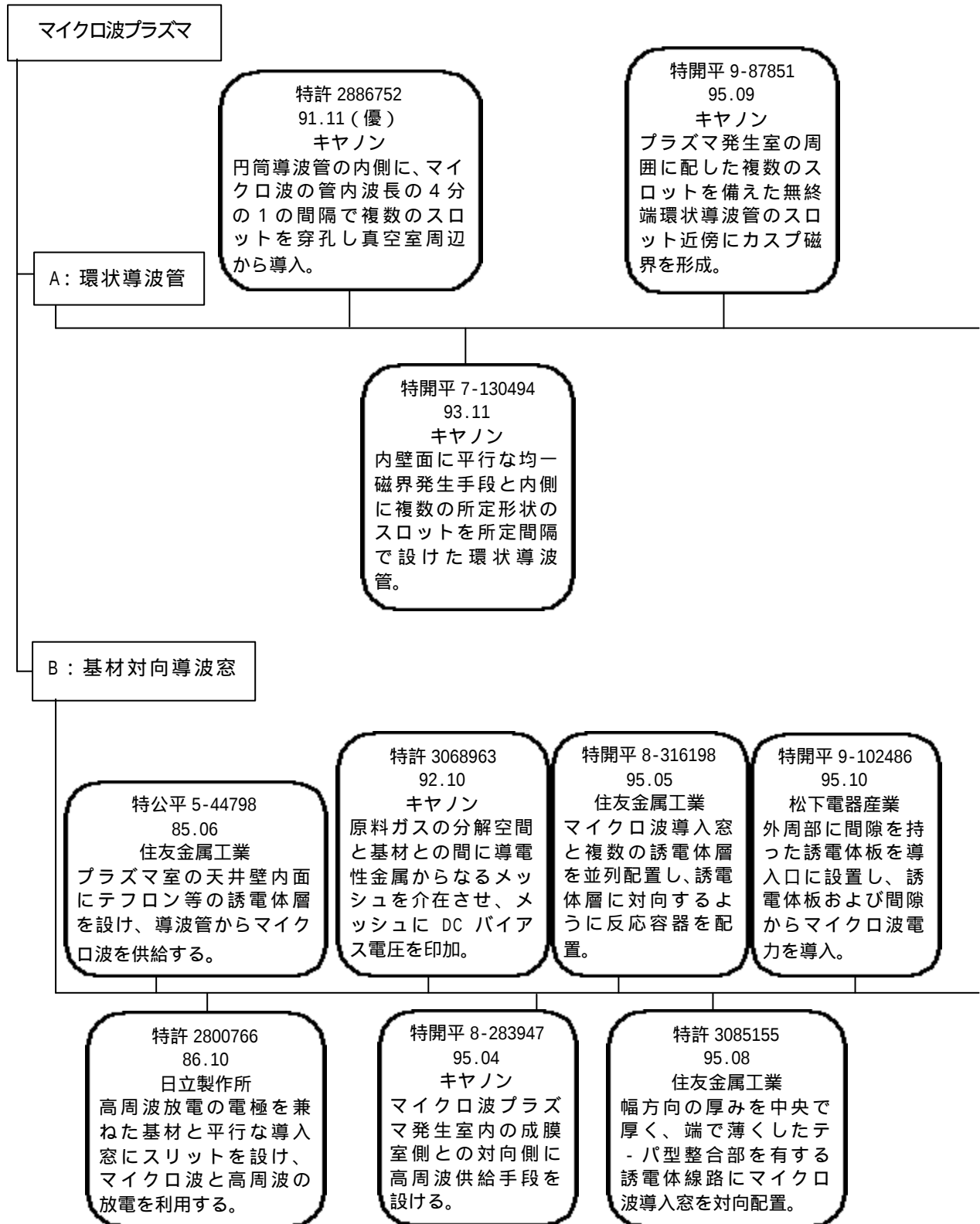


図 2.2.2-2 マイクロ波プラズマ技術発展図 (2/2)

出願年

'96

'98

年月は出願月または優先権主張月

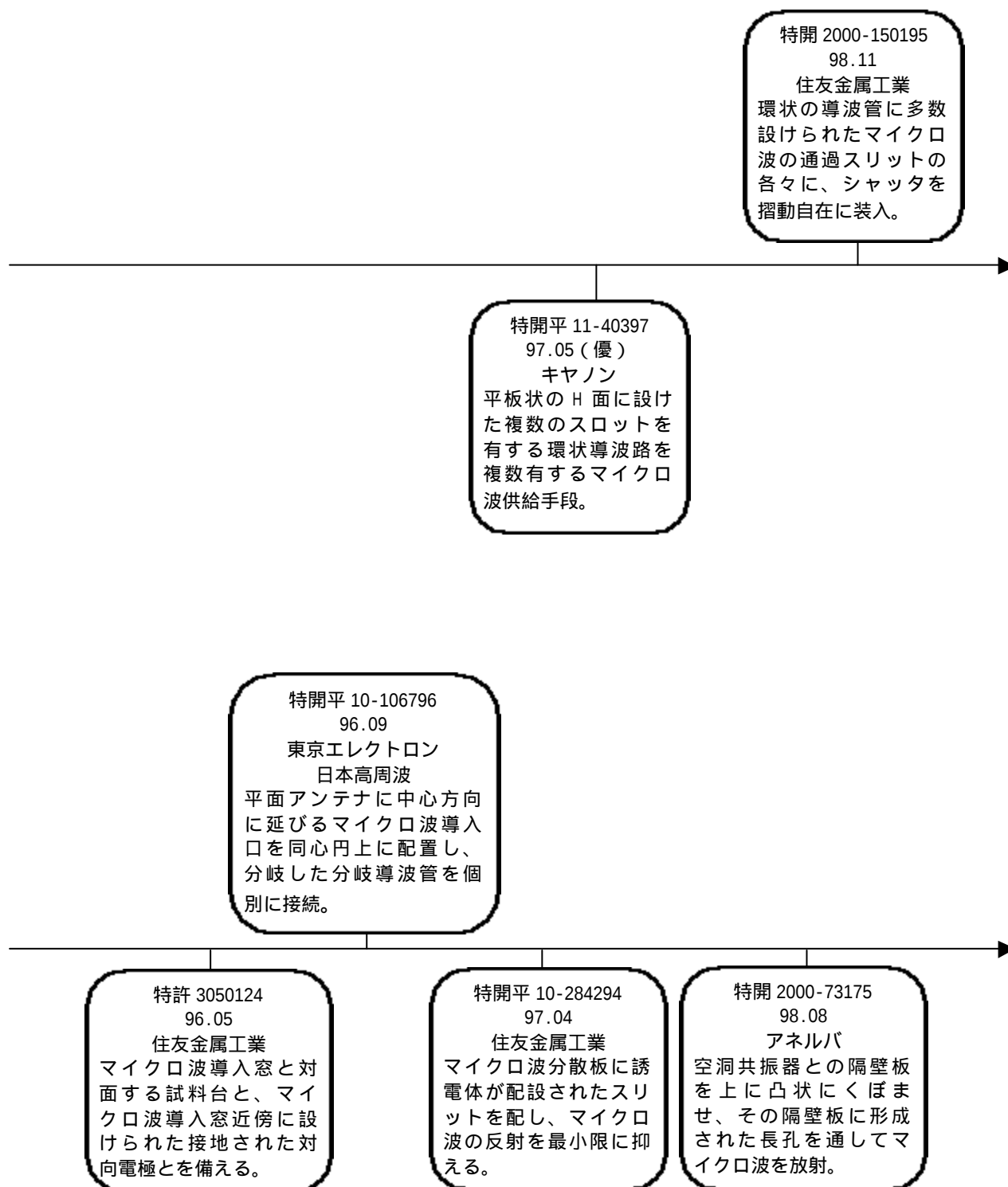


図 2.2.2-3 誘導結合型技術発展図 (1/2)

出願年

'86

'95

年月は出願月または優先権主張月

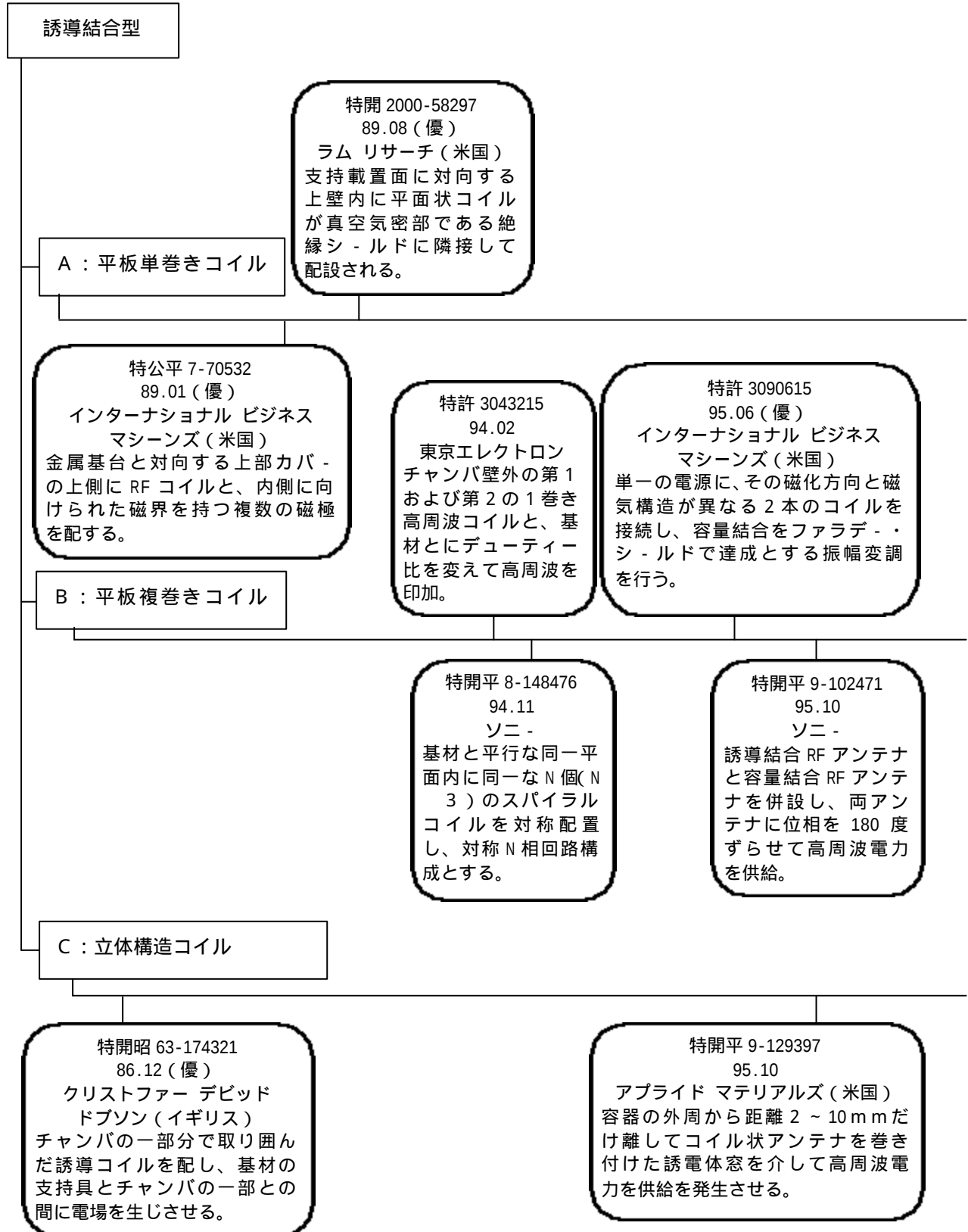


図 2.2.2-3 誘導結合型技術発展図 (2/2)

出願年

'96

'98

年月は出願月または優先権主張月

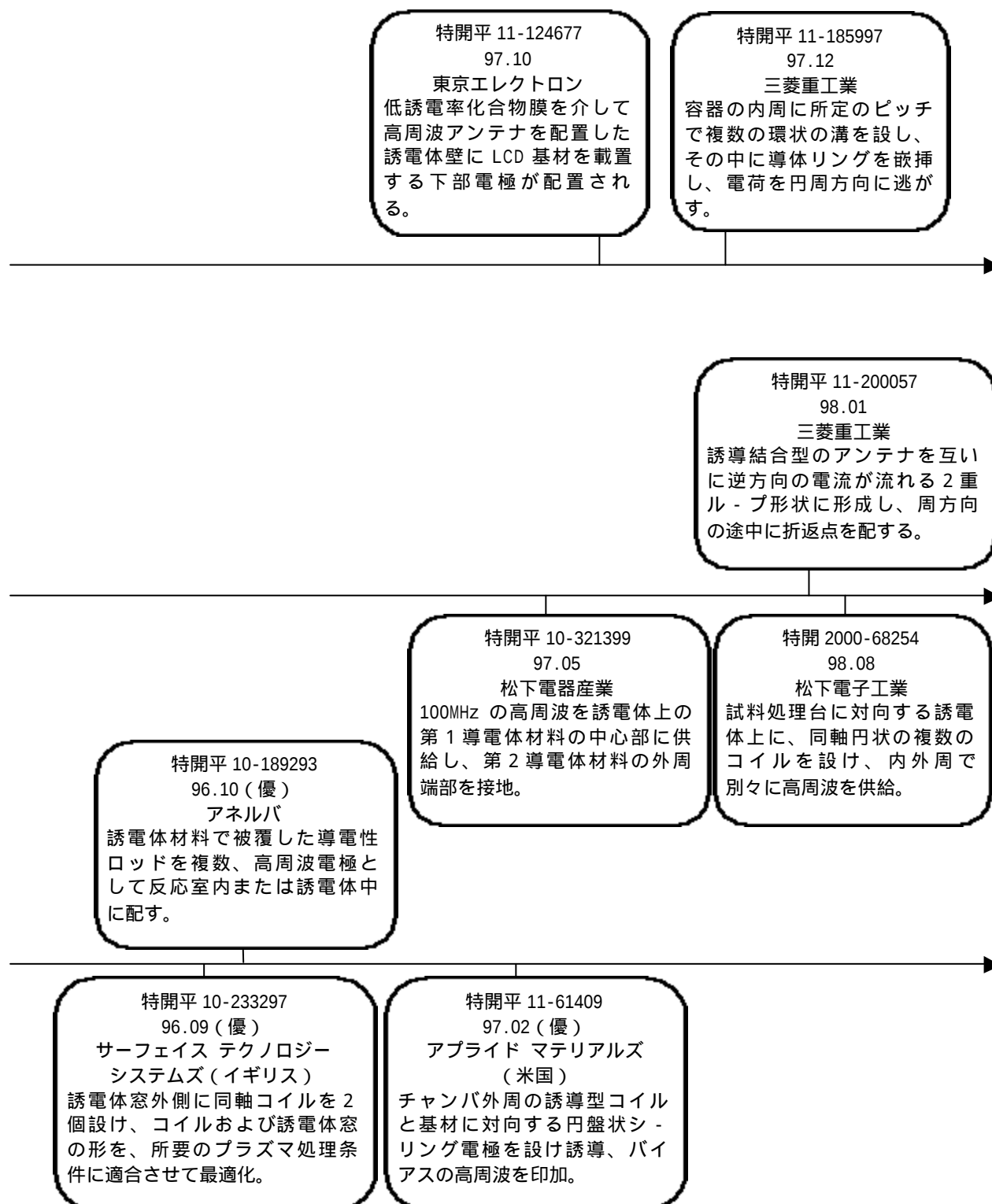


図 2.2.2-4 容量結合型技術発展図 (1/2)

出願年

'79

'93

年月は出願月または優先権主張月

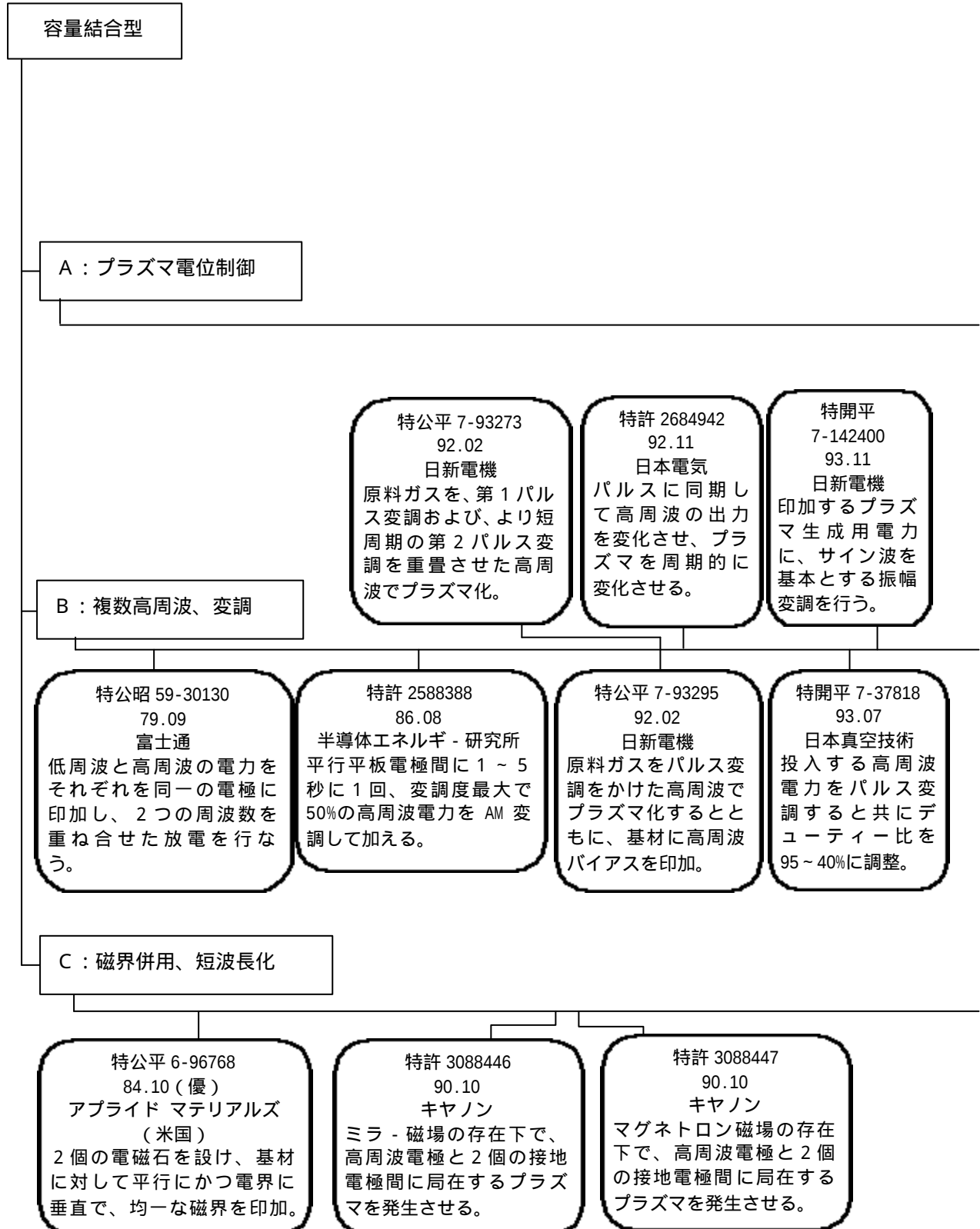


図 2.2.2-4 容量結合型技術発展図 (2/2)

出願年

'95

'98

年月は出願月または優先権主張月

