

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais

Mestrado Integrado em Engenharia
Metalúrgica e de Materiais



Análise das Causas Indutoras de Manchas de Plasma no Mold Compound

Realizado por: Filipe Cardoso

Orientador FEUP: Prof. Doutor Luís Filipe Malheiros

Orientador QIMONDA Portugal, SA: Doutor Rui Batista

Novembro de 2008

<i>CANDIDATO</i>	Filipe Miguel Brito Cardoso		<i>Código</i>	070508007
<i>TÍTULO</i>	Análise das causas indutoras de manchas de plasma no mold compound			
<i>DATA</i>	3 de Novembro de 2008			
<i>LOCAL</i>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala C-603- 10h00			
<i>JÚRI</i>	<i>Presidente</i>	Professor Doutor Manuel Fernando Gonçalves Vieira	DEMM/FEUP	
	<i>Arguente</i>	Professora Doutora Maria Teresa Freire Vieira	DEM/FCTUC	
	<i>Orientador</i>	Professor Doutor Luís Filipe Malheiros Freitas Ferreira	DEMM/FEUP	

Agradecimentos

Antes de mais, gostaria de agradecer ao meu orientador,
Professor Doutor Luís Filipe Malheiros, por toda a disponibilidade e ajuda prestadas.

Ao meu supervisor, Rui Batista, pelo apoio e motivação constantes.

Queria também agradecer ao Professor Paulo Sá.

Ao José Pereira, Maria Manuela Ferreira, Pedro Taxa,
Liliana Lourenço, Eduardo Fernandes e Alexandre Azevedo.

Ao James Getty, à Kerstin Nocke e à Isabel Barros.

Principalmente, à minha mãe.

Resumo

Na indústria de semicondutores o processo de limpeza por plasma é fundamental por questões de fiabilidade do produto. Por vezes, durante o processo de PlasmaPreSBA, aparecem umas manchas no topo das unidades de memória, ou seja, na superfície do *mold compound*. Esta falha, sendo um defeito puramente estético e que provocava elevadas taxas de não conformidade, está na base desta tese de mestrado.

Este trabalho consistiu na caracterização do defeito, na análise das causas mais prováveis para a ocorrência do problema e, por fim, na enumeração e implementação de medidas que permitissem minimizar e/ou eliminar o seu aparecimento.

A nível da caracterização do defeito, efectuou-se um estudo comparativo entre unidades afectadas e não afectadas. Este baseou-se na medição da espessura de *mold compound* acima do *die*, não se tendo verificado diferenças significativas, e na análise da superfície em Microscopia Electrónica de Varrimento, que mostrou ter havido remoção de alguns constituintes do *mold compound* nas unidades que apresentavam defeito.

Na identificação das causas começou-se por verificar se existia algum tipo de relação com o equipamento, com o produto, com o *mold compound* e com o número consecutivo de *shots* das *tools* de moldação, apenas se verificando um tipo de *mold compound* mais afectado.

A fase seguinte consistiu na redução do caudal de injeção de O₂, que resultou em melhorias significativas na redução do número de ocorrências de unidades com defeito. Por último, avaliou-se o impacto da introdução de uma base cerâmica por cima da *ground shelf*, o que veio a manifestar-se como a solução mais expedita para eliminar o aparecimento das manchas de plasma. Com base nestes resultados procedeu-se à implementação destas duas medidas.

Palavras Chave: plasma, *mold compound*, semicondutores.

Abstract

On semiconductors industry, the plasma cleaning process is very important due to product reliability issues. Sometimes, during the PlasmaPreSBA process, some stains appear on top of the unit memories, on the mold compound surface. This fail, being an aesthetic defect and that causes high values of yield loss, is on the base of this master thesis.

This work consisted on the defect characterization, in the analysis of the most probable causes for the occurrence of the problem and, finally, in the enumeration and implementation of measures that allowed to minimize and/or to eliminate its appearance.

Related with the characterization of the defect, a comparative study between affected and not affected units was done. This was based on the measurement of the thickness of mold compound above the die, not having been verified significant differences, and in the analysis of the surface on Scanning Electron Microscope, that showed that there was removal of some constituent of mold compound in the units that have the defect.

The identification of the causes began by verifying if there are any relation with the equipment, with the product, mold compound and the number of shots of molding tools, only one type of mold compound was identified with higher fail rate.

The following step consisted on the reduction of the O₂ flow into the chamber, which resulted in significant improvements in the reduction of the number of occurrences of units with defect. Finally, the impact of the introduction of a ceramic piece over the ground shelf was evaluated, what it came to disclose itself as the solution to eliminate the appearance of the plasma stains. Based on these results these two actions were implemented.

Keywords: plasma, mold compound, semiconductors.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice	iv
Lista de Figuras	v
Glossário.....	vii
1- Objectivo.....	1
2- Introdução.....	1
2.1- Apresentação da Empresa	1
2.2- Definição de Plasma	2
2.3- Descrição do Processo de Plasma	4
2.4- Funcionamento do Plasma	5
2.5- Plasma Físico vs Plasma Químico.....	5
2.6- Parâmetros do Plasma	6
2.6.1- Grau de Ionização.....	7
2.6.2- Temperatura do Plasma.....	7
2.6.3- Comprimento de Debye.....	7
2.6.4- Plasma “ <i>Sheath</i> ”.....	7
2.6.5- Frequência do Plasma.....	8
2.7- Tipos de Plasma.....	8
3- Empresa (QPT)	9
3.1- Descrição do <i>flow</i> na área de <i>Assembly</i>	9
3.2- Composição do <i>Mold Compound</i> usado na empresa	10
3.3- Equipamentos de Plasma PreSBA da QIMONDA Portugal SA	11
3.3.1- Etapas do Processo de Plasma.....	11
3.3.2- Parâmetros do Processo.....	12
3.4- Descrição do Defeito	13
4- Procedimento Experimental.....	13
5- Resultados.....	17
6- Discussão	23
7- Conclusões.....	28
8- Estudos Futuros.....	29
9- Bibliografia	30
Anexos	31

Lista de Figuras

Fig. 1: Localização das fábricas do grupo QIMONDA AG pelos diferentes continentes.	2
Fig. 2: Representação esquemática dos quatro estados da matéria.....	2
Fig. 3: Representação esquemática do fabrico dos substratos.....	10
Fig. 4: Fotos dos equipamentos a) Diener Tetra 30 e b) March AP 1000, respectivamente.	11
Fig. 5: Representação esquemática de uma memória, em que as letras representam as medições de espessura acima do substrato, em ambos os lados (a e b), de <i>mold compound</i> acima do die (c) e do die (d).	13
Fig. 6: Substrato afectado com manchas de plasma, excepto em 3 unidades (assinaladas com a seta verde) e no canto direito.	15
Fig. 7: Substrato evidenciando os <i>NSD contacts</i>	15
Fig. 8: Imagem do interior do equipamento de plasma Diener.....	16
Fig. 9: Imagem do interior do equipamento de plasma March sem (a) e com (b) o vidro temperado colocado na prateleira inferior do equipamento.....	16
Fig. 10: Imagem de uma unidade não submetida a plasma e respectiva fotomicrografia obtida em SEM e difractograma relativo à análise em EDX.	17
Fig. 11: Imagem de uma unidade que, após operação de plasma, não apresentava manchas, e respectiva fotomicrografia obtida em SEM e difractograma relativo à análise em EDX.	18
Fig. 12: Imagem de uma unidade que, após operação de plasma, apresentava manchas, e respectiva fotomicrografia obtida em SEM e difractograma relativo à análise em EDX.	18
Fig. 13: Análise de Pareto de perdas (taxa de não conformidade) relativas a cada produto.	19
Fig. 14: Análise de Pareto de perdas (taxa de não conformidade) por tipo de mold compound.....	19
Fig. 15: Análise da perda (taxa de não conformidade) associada a cada equipamento March antes e após a alteração de um parâmetro do processo (redução do teor de oxigénio).	20
Fig. 16: Correlação entre o número de manchas de plasma e o número médio de <i>shots</i> das <i>tools</i> de moldação.....	22
Fig. 17: Análise da perda associada aos equipamentos de plasma durante o período em que se fez a inversão da colocação das magazines nos equipamentos.....	23
Fig. 18 Imagens ópticas das 3 unidades que não foram sujeitas ao processo de plasma, evidenciando onde foram efectuadas as diferentes medições.	31
Fig. 19 Imagens ópticas das 3 unidades que foram sujeitas ao processo de plasma mas que não apresentavam manchas, evidenciando onde foram efectuadas as diferentes medições.....	31
Fig. 20: Imagens ópticas das 3 unidades que foram sujeitas ao processo de plasma e que apresentavam manchas, evidenciando onde foram efectuadas as diferentes medições.	32
Fig. 21: Análise das falhas por máquinas de moldação.....	34
Fig. 22: Análise das falhas por fornos de cura.....	34
Fig. 23: Análise das falhas por equipamentos de plasma.	35

Lista de Tabelas

Tabela 1: Propriedades dos diferentes tipos de <i> mold compound </i> utilizados na QPT... 10	10
Tabela 2: Resultados das medições da espessura do <i> die </i> , da espessura de <i> mold compound </i> acima do <i> die </i> , e ainda da espessura de <i> mold compound </i> acima do substrato, a 3 unidades para cada caso (ver em anexo as imagens referentes a cada medição). 17	17
Tabela 3: Resultados da avaliação de lotes que apresentaram manchas de plasma e do número de <i> shots </i> das <i> tools </i> de moldação. 21	21
Tabela 4: Resultados das perdas (taxas de não conformidade) de cada produto..... 33	33
Tabela 5: Resultados das perdas (taxas de não conformidade) por tipo de <i> mold compound </i> 33	33
Tabela 6: Resultados da perda (taxa de não conformidade) associada a cada equipamento March antes e após a alteração de um parâmetro do processo (redução do teor de oxigênio). 35	35
Tabela 7: Resultados da perda (taxa de não conformidade) associada aos equipamentos de plasma durante o período em que se fez a inversão da colocação das magazines nos equipamentos..... 35	35

Glossário

Auto Optical Inspection: inspeção óptica automática;

Auto Visual Inspection: inspeção visual final;

BUM's: significa *Bad Unit Marks*; são unidades que já podem vir rejeitadas do fornecedor, ou que são rejeitadas durante o processamento dos lotes;

Copper Plate: electrodeposição de cobre;

Develop-Etch-Strip: ataque químico do cobre e remoção do filme;

Die (chip): pequeno bloco de material semiconductor no qual é fabricado um determinado circuito funcional;

Dry Film Lamination: laminação do filme;

DRAM (Dynamic Random Access Memory): tipo de memória de acesso aleatório que armazena cada bit num condensador isolado, dentro de um circuito integrado;

CZ Chemical Treatment: pré-tratamento químico do cobre;

Electrolytic Ni-Au Plating: electrodeposição do níquel e do ouro;

Fast Ball Shear Test: teste destrutivo de remoção de bolas de solda, com o intuito de avaliar a resistência da brasagem entre a bola de solda e o *pad*;

Fingers: áreas dos substratos onde se faz a soldadura do fio de ouro, estabelecendo-se assim a ligação eléctrica com o *die*;

Golden Pad: defeito do processo de *Ball Attach* em que se verifica falta de uma ou mais bolas numa unidade e que ocorre quando não existe brasagem da bola de solda com o *pad*;

Ink Test: teste de molhabilidade, constituído por diferentes frascos com líquidos que apresentam diferentes tensões superficiais;

Lot traveler: documento que acompanha todos os lotes, onde é feito o registo de toda a informação relativa ao processamento dos mesmos: equipamentos, materiais, data de processamento;

Magazine: espécie de “gaveta” onde se colocam os substratos em toda a área do processo;

Mechanical/Laser Drill: furação mecânica ou a laser dos painéis;

Merge: operação contrária ao *split*, em que se juntam dois ou mais lotes, passando a ter uma identidade única;

Mold compound: compósito termoendurecível de moldação que é usado para encapsular o *die*;

NSD contacts: pequenas áreas do substrato que servem para estabelecer a ligação à terra durante o processo de *Wire Bond*;

Pads: áreas do substrato onde vão ser colocadas as bolas de solda no processo de *Ball Attach*;

Photo-Imaging: processo de cura do filme fotosensível;

Routing: corte;

Shots: ciclos de processo de uma *tool* de molde (ciclo de moldação);

Solder Balls: bolas de solda, de diferentes ligas metálicas, utilizadas no processo de *Solder Ball Attach*;

Solder Resist Develop: desenvolvimento das aberturas na máscara protectora;

Solder Resist Coat: revestimento com máscara protectora;

Split: operação que divide um lote, num ou mais “sub-lotes”, que passam a ter identidades próprias. Estes *splits* podem ser feitos devido a conveniência de processamento ou quando existem falhas e os lotes ficam parados à atenção da engenharia;

Tools: ferramenta de molde;

Yield Loss: taxa de não conformidade; proporção entre o número de falhas e o volume produzido, em ppm’s (partes por milhão).

1- Objectivo

Esta tese tem como base de estudo um defeito que ocorre durante o processo de Plasma PreSBA, as chamadas “manchas de plasma”.

Os objectivos são basicamente os seguintes:

1. Caracterização do defeito;
2. Análise das causas mais prováveis para a ocorrência do problema;
3. Enumeração de medidas que permitam minimizar o seu aparecimento.

2- Introdução

2.1- Apresentação da Empresa

A Qimonda AG (cotada na Bolsa de Nova Iorque) é uma multinacional líder na produção de semicondutores, possuindo um vasto *portfolio* em memórias DRAM. A empresa emprega actualmente 13.500 colaboradores em todo o mundo, repartidos por cinco unidades de fabrico em três continentes e por seis laboratórios de Investigação & Desenvolvimento, tendo gerado um volume global de vendas de 3,61 mil milhões de euros durante o seu ano fiscal de 2007 (1 de Outubro de 2006 a 30 de Setembro de 2007). A QIMONDA AG produz semicondutores para uma enorme variedade de aplicações, através de tecnologia de baixo consumo e alto rendimento.

A QIMONDA Portugal SA é actualmente a maior fábrica europeia de montagem e teste de produtos de memórias, pertencendo à multinacional QIMONDA AG, com sede na Alemanha. Fundada em 1996, esta unidade de Vila do Conde é responsável pela produção de 7% do volume mundial de memórias DRAM destinadas à integração em computadores, servidores e outros terminais digitais, como leitores de MP3, telemóveis, câmaras fotográficas digitais e consolas de jogos, entre outros.

Sendo a única fábrica de semicondutores em Portugal e a maior da Europa na montagem e teste de produtos de memórias, esta unidade é frequentemente descrita como um excelente exemplo de investimento estrangeiro de sucesso em Portugal.

Com uma produção flexível e uma estratégia de negócio especialmente vocacionada para a gestão pela excelência e para a satisfação das necessidades dos seus clientes, a QIMONDA Portugal SA é uma referência no sector da Indústria Eléctrica e Electrónica a nível nacional.



Fig. 1 Localização das fábricas do grupo QIMONDA AG pelos diferentes continentes.

2.2- Definição de Plasma

Tendo em consideração a energia das partículas que o constituem, o plasma é conhecido como sendo o quarto estado da matéria (Fig. 1) [1].

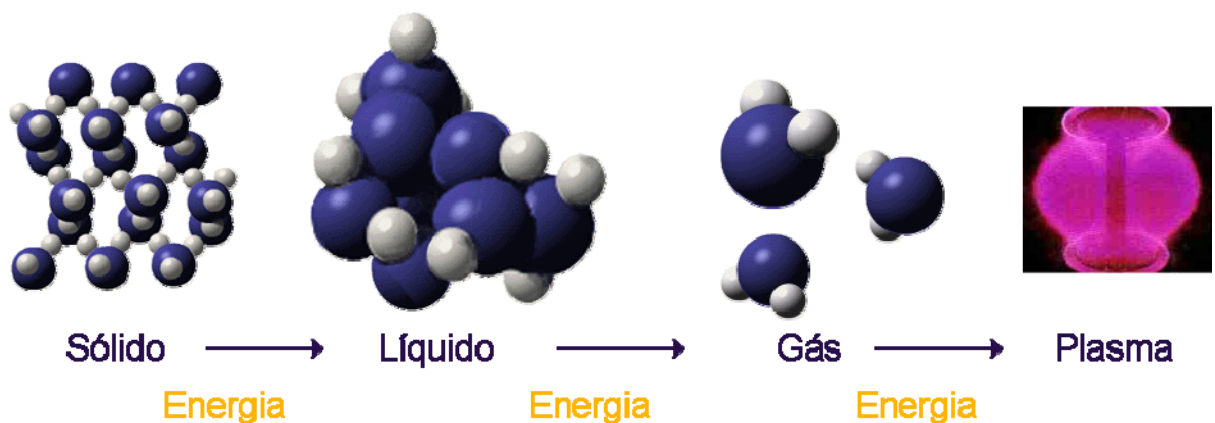
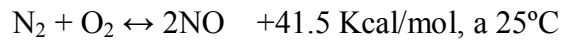


Fig. 2 Representação esquemática dos quatro estados da matéria.

Na realidade, esta definição não é muito adequada pois a passagem de um gás para a forma de plasma não ocorre através de uma “transição de fase” bem definida, tal como nas transições do estado sólido para líquido e deste para gasoso. Certamente, o plasma pode ser considerado um estado distinto da matéria, caracterizado por possuir um

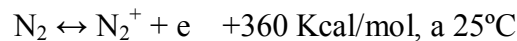
número de partículas electricamente carregadas suficiente para afectar as suas propriedades e comportamento [2].

Considerando, por exemplo, o ar atmosférico constituído basicamente por moléculas de azoto e oxigénio, a altas temperaturas, pode haver formação de óxidos de azoto, devido à possibilidade de ocorrência da seguinte reacção química:



Tal como representado, esta reacção pode ocorrer em ambos os sentidos. De acordo com o *Princípio de Le Chatelier*, um aumento da temperatura, induz um aumento da concentração de moléculas de NO.

Uma situação idêntica ocorre no caso da formação de partículas carregadas no seio de um gás, muito embora este processo envolva uma temperatura mais elevada. Por exemplo, a ionização das moléculas de azoto poderá ser descrita pelo equilíbrio:



Assim, as reacções químicas e de ionização de equilíbrio são análogas, mas a ionização de átomos ou moléculas ocorre a temperaturas mais elevadas do que as transformações químicas. Um gás pouco ionizado, ao qual deveríamos chamar *plasma*, apresenta analogias com um gás quimicamente activo. Por conseguinte, ele não é verdadeiramente uma nova forma de matéria [3].

De uma forma mais rigorosa, um plasma pode ser definido como um **gás quase neutro** de partículas neutras (átomos e moléculas) e carregadas (iões, radicais livres, outros produtos neutros e fotões), caracterizadas por apresentarem um **comportamento de interacção** entre si [1], [3]. É uma mistura electricamente neutra de espécies, física e quimicamente activas, que se encontram em fase gasosa, capazes de modificar o estado superficial de um sistema [1], [3].

Num plasma, o movimento das partículas pode causar concentrações localizadas de cargas eléctricas positivas e negativas. Estas concentrações localizadas criam campos de Coulomb longos e variados que afectam o movimento das partículas carregadas, tanto mais elevadas quanto maiores forem as concentrações de carga. Assim, os elementos de plasma são afectados, mesmo a grandes distâncias, dando ao plasma a sua característica de **comportamento de interacção** entre as suas partículas. Num plasma, uma partícula

carregada movimenta-se ao longo de um trajecto que, em média, segue o campo eléctrico.

Num plasma, concentrações localizadas de carga estão confinadas a volumes de pequenas dimensões de tamanho λ_D , onde λ_D é uma característica dimensional do plasma, chamada comprimento de Debye (distância ao longo da qual se faz sentir, no interior do plasma, a influência de um campo eléctrico perturbador). Para um plasma ser estável, é necessário que as dimensões do sistema sejam muito maiores que o comprimento de Debye. Fora destes pequenos volumes, da ordem dos micrómetros, a densidade de carga dos iões (que é geralmente igual à densidade dos iões) é igual à densidade dos electrões, fazendo do plasma um sistema electricamente neutro. Como resultado, o plasma é considerado um **gás quase neutro** [1], [3].

O plasma constitui cerca de 99% da matéria do universo visível conhecido, sendo 1% referente aos outros estados de agregação da matéria (sólido, líquido e gasoso).

Existem dois mecanismos chave no processamento de plasma: um mecanismo físico executado pelos iões, e um mecanismo químico executado pelos radicais livres e por outros produtos neutros [3].

2.3- Descrição do Processo de Plasma

Geralmente, o plasma é obtido quando é adicionada energia suficiente, superior à energia de ionização, aos átomos de gás, causando a ionização e a produção de iões e de electrões. Em paralelo à ionização, ocorre o processo oposto de recombinação de electrões com iões para formar átomos neutros ou moléculas. Os plasmas são quase sempre produzidos através de descargas eléctricas em gases. Num gás, o plasma é geralmente excitado, fornecendo ao gás energia electromagnética sob diferentes formas: corrente directa, radiofrequência, micro-ondas. Os plasmas são frequentemente referidos como descargas de gás pelo que a maneira mais comum de produzir plasma é a de fazer passar uma descarga eléctrica através de um gás.

O plasma é um processo em que a superfície de um material é modificada através da acção de componentes moleculares de um gás dissociado. Devido ao facto destes componentes estarem num estado de muito alta energia, são quimicamente reactivos e podem afectar facilmente a superfície dos materiais.

As modificações que ocorrem são complexas e dependem de muitas variáveis, entre as quais os gases, a pressão de processamento e a composição da superfície do material a ser processado. A grande vantagem do plasma é que apenas a superfície (as primeiras camadas moleculares) é alterada; as características de todo o material permanecem inalteradas [1], [4].

2.4- Funcionamento do Plasma

O plasma remove contaminações orgânicas das superfícies primariamente por reacções químicas e, secundariamente, por extracção física. Durante a limpeza, as espécies de plasma reagem com a superfície fazendo com que haja remoção dos contaminantes. No caso de plasmas com oxigénio (como é o caso dos equipamentos de plasma usados na QPT), as espécies de oxigénio excitadas decompõem as moléculas orgânicas de baixo peso molecular, quebrando as ligações C-H e C-C para formar vapor de água e CO₂ que são removidos da câmara através da bomba de vácuo. O reabastecimento e a remoção em contínuo dos gases promovem a eliminação das contaminações.

O plasma funciona como um processo de limpeza e de activação da superfície. No processo de *limpeza*, as partículas/contaminações são removidas da superfície do substrato. Neste caso, o plasma reage sob duas formas distintas: remoção de camadas orgânicas e redução dos óxidos. O processo de *activação* altera as primeiras camadas moleculares da superfície a ser processada. Isto é efectuado através da incorporação de grupos químicos funcionais que alteram a energia de superfície do material, sem alterar as propriedades da mesma, induzindo alterações na adesão e na molhabilidade do material tratado [5].

2.5- Plasma Físico vs Plasma Químico

Na QIMONDA Portugal SA, existem dois tipos de equipamentos de plasma (descritos mais adiante, na secção 3.3). Em ambos os casos, os equipamentos geram simultaneamente plasma físico e químico.

O **plasma físico** (iões) limpa os substratos por bombardeamento da superfície, removendo as contaminações por acção mecânica. Este tipo de plasma pode ser visto como uma operação de “micro-grenalhagem” o que, com o tempo, pode promover a remoção de quase todos os tipos de materiais.

O **plasma químico** limpa a superfície através de reacções químicas na superfície dos substratos. Geralmente, este tipo de plasmas provoca um bombardeamento muito fraco devido à baixa massa dos gases usados no processo; assim, os processos são executados a altas pressões para maximizar o número de iões reactivos nas zonas de contaminação [5].

2.6- Parâmetros do Plasma

O plasma é largamente caracterizado pelos seguintes parâmetros:

- Densidade de partículas neutras;
- Densidade de electrões e iões (no estado quase neutro dos plasmas, a densidade dos iões e dos electrões é quase sempre a mesma, sendo igual à densidade de plasma);
- Distribuição de energia das partículas neutras.

A densidade de plasma é um parâmetro muito importante no processamento de plasma porque a eficácia dos processos que ocorrem no plasma bem como as suas taxas de reacção são geralmente dependentes directamente da densidade das partículas carregadas. Os electrões são o principal factor responsável pela transferência de energia do campo eléctrico externo para o gás de descarga. Sendo carregados electricamente, os electrões e os iões interagem com o campo eléctrico externo que é aplicado, e são acelerados devido à absorção de energia. Como os electrões são as partículas mais leves no plasma, são facilmente acelerados pois absorvem a maior quantidade de energia do campo externo. Devido às colisões, os electrões transferem energia para as moléculas de gás provocando a sua dissociação e ionização. A efectividade deste processo aumenta com o aumento da densidade de electrões. Os iões desempenham igualmente um papel significativo nas reacções químicas que ocorrem no plasma. Muitas das reacções que ocorrem no plasma são controladas (ou afectadas) pela química dos iões. Por conseguinte, é importante atingir altas densidades de iões para aumentar a taxa das reacções que envolvem os iões.

Tal como em qualquer sistema gasoso, no plasma as partículas estão em constante movimento, induzindo colisões entre elas. Estas colisões podem ser de dois tipos: elásticas e inelásticas. Colisões entre electrões e alvos pesados (isto é, partículas neutras ou carregadas), que não resultam em excitação do alvo, são designadas **colisões**

elásticas, ao passo que as colisões que deixam o alvo num estado excitado são chamadas **colisões inelásticas** [1], [6], [7].

2.6.1- Grau de Ionização

O parâmetro que define a densidade de partículas carregadas num plasma é o *grau de ionização* do gás. Este parâmetro especifica a fracção de partículas no estado gasoso que estão ionizadas [1], [3].

2.6.2- Temperatura do Plasma

Um dos parâmetros físicos que define o estado dos gases neutros em equilíbrio termodinâmico é a sua temperatura, que representa a *energia de translação média* num sistema [1], [3]

2.6.3- Comprimento de Debye

Outro parâmetro importante num plasma é o seu **comprimento de Debye**. Se um campo eléctrico é criado num plasma, as partículas carregadas vão reagir para reduzir o efeito do campo eléctrico. Os electrões mais leves, mais móveis, vão responder mais rapidamente ao campo eléctrico. Se um plasma tiver um excesso de partículas positivas ou negativas, tal excesso criará um campo eléctrico e os electrões irão mover-se para anular a carga.

A resposta das partículas carregadas para reduzir o efeito dos campos eléctricos localizados é designada de **protecção de Debye** e este efeito confere ao plasma a sua característica de quase neutralidade.

O comprimento de Debye diminui com o aumento da densidade de electrões. Um gás ionizado só é considerado plasma se a densidade de partículas carregadas for suficientemente grande de modo a que o comprimento de Debye seja muito menor que as dimensões do sistema. O comprimento de Debye é uma dimensão característica de regiões em que pode deixar de haver neutralidade (formação de concentrações de carga localizadas) num plasma [1], [3], [7].

2.6.4- Plasma “Sheath”

Os iões e os electrões que conseguem atingir a superfície a ser tratada recombina-se e acabam por sair do sistema de plasma. Os electrões que têm velocidades térmicas

muito superiores às dos iões atingem a superfície mais depressa e deixam o plasma com uma carga positiva na vizinhança da superfície. Um campo eléctrico que retarda os electrões e acelera os iões desenvolve, junto da superfície, uma corrente nula. Como resultado, a superfície fica com um potencial negativo, relativamente ao plasma.

Por conseguinte, o plasma é sempre o potencial positivo relativamente a qualquer superfície em contacto com ele. Devido ao efeito do comprimento de Debye, o potencial que se cria entre a superfície e o plasma está confinado a uma camada de espessura correspondente a vários comprimentos de Debye. Esta camada de carga espacial positiva, que existe à volta de toda a superfície em contacto com o plasma, é chamada de *plasma sheath* [1], [6].

2.6.5- Frequência do Plasma

Apesar do plasma ser quase neutro, podem ocorrer perturbações locais da neutralidade, em volumes mais pequenos do que o da esfera de Debye (esfera cujo raio é igual ao comprimento de Debye). Devido à sua baixa massa, os electrões respondem mais depressa do que os iões às forças eléctricas geradas pelas perturbações de neutralidade. A resposta à perturbação verifica-se por oscilações. A frequência destas oscilações de electrões é designada por **frequência de Langmuir** [1], [3].

2.7- Tipos de Plasma

Os plasmas podem ser classificados em diferentes categorias:

- Plasmas em equilíbrio termodinâmico completo (apenas existem nas estrelas ou em pequenos intervalos de uma forte explosão porque este tipo de plasma não existe controlado em condições laboratoriais);
- Plasmas em equilíbrio termodinâmico local (estes são plasmas em que todas as temperaturas [$T_{\text{electrões}}$, $T_{\text{iões}}$, $T_{\text{gás}}$, $T_{\text{excitação}}$, $T_{\text{ionização}}$, $T_{\text{dissociação}}$] são iguais em todo e qualquer volume do plasma, por menor que ele seja);
- Plasmas que não estão em qualquer equilíbrio termodinâmico local (também chamados de plasmas a frio) [1].

3- Empresa (QPT)

3.1- Descrição do *flow* na área de *Assembly*

As etapas do processo de fabrico de memórias na QIMONDA Portugal SA, são as seguintes:

- *Printing*;
- *B-Stage*;
- *Die-Bond*;
- *BondCure*;
- *Wire Plasma*;
- *Wire-Bond*;
- *Plasma Clean*;
- *Molding*;
- *MoldCure*;
- *Plasma PreSBA*;
- *Solder Ball Attach*;
- *Singulation*.

De um modo genérico, no processo de *printing*, é colocada uma resina epoxi por cima do substrato, a fim de prepará-lo para o processo de *Die-Bond*, onde são colocados os *dies*. Entre estes dois processos, existe uma etapa, *B-Stage*, para que a resina adquira alguma consistência. *BondCure* após *Die Bond* serve para fortalecer a ligação entre o *die* e a resina. O *Wire Plasma* ajuda, fundamentalmente, na limpeza dos *fingers* que, em *Wire-Bond*, vão estabelecer a ligação eléctrica entre o *die* e o substrato, através de um fio de ouro. Com este processo, dá-se por concluída toda a área de *Front of Line* (Fol). A partir daqui, passa-se à área de *End of Line* (EoL), em que o primeiro processo, *Plasma Clean*, serve fundamentalmente para remover contaminações orgânicas (do substrato e do *die*) e para activar a superfície que, posteriormente, vai “receber” o *mold compound*, no processo de *Molding*, em que se verifica o encapsulamento dos *dies*. Em *MoldCure*, promove-se a total reticulação do *mold compound*. Segue-se o processo de *Plasma PreSBA*, em que há remoção de óxidos potencialmente existentes nos *pads*, para, posteriormente, se criar um bom intermetálico entre estes e as *solder balls*, no processo de *Solder Ball Attach*. Por fim, os substratos são cortados (no processo de *Singulation*), em que se procede à individualização de unidades de memória.

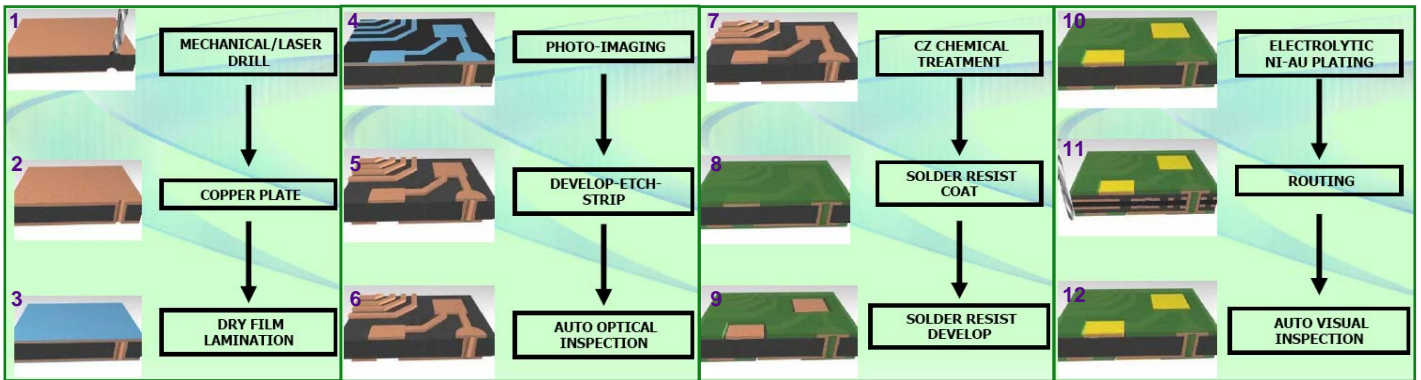


Fig. 3 Representação esquemática do fabrico dos substratos

3.2- Composição do *Mold Compound* usado na empresa

Devido à confidencialidade de informação, não é permitida a passagem para o exterior de certos documentos da empresa. Neste sentido, a “composição” do *mold compound* utilizado no processo vai apenas ser descrito de uma forma qualitativa e não quantitativa, assim como a designação, que será descrito como A, B, C e D.

Dos vários tipos de *mold compound* que a empresa utiliza, em que a principal diferença reside nas percentagens de cada componente, cada um deles é constituído basicamente por:

- Resina epoxi;
- Endurecedor;
- *Fillers* (sílica fundida);
- Catalisadores;
- Desmoldante;
- Modificador;
- Outros aditivos.

Propriedades do *mold compound*:

Tabela 1: Propriedades dos diferentes tipos de *mold compound* utilizados na QPT.

	Constante Dielétrica	Factor de Dissipação (%)	Condutividade Térmica (W/m K)
A	4.5	1.0	1.15
B	4.5	1.5	-
C	4.5	3.5	1.04
D	4.5	3.5	1.04

3.3- Equipamentos de Plasma PreSBA da QIMONDA Portugal SA

A QIMONDA Portugal SA tem dois tipos de equipamentos de plasma: Diener e March. Os Diener têm 3 modelos diferentes, os Tetra 30, Tetra 100 e Tetra 150, cuja principal diferença reside na capacidade dos equipamentos, enquanto que os March apenas têm um modelo, o AP 1000.

Os equipamentos Diener funcionam a uma frequência de 40 KHz e a uma potência máxima de 2500 W, enquanto que os March funcionam a 14 MHz e a uma potência máxima de 600 W; no entanto, ambos os equipamentos funcionam em corrente alternada (AC).

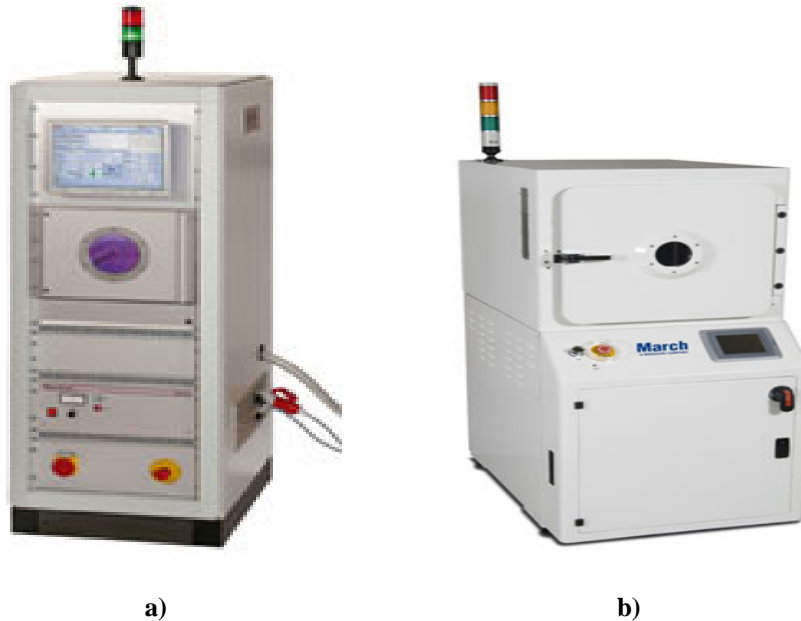


Fig. 4 Fotos dos equipamentos a) Diener Tetra 30 e b) March AP 1000, respectivamente.

3.3.1- Etapas do Processo de Plasma

Em ambos os equipamentos, as etapas do processo são basicamente as mesmas. Destacam-se as seguintes:

- Pumping down;
- Gas stabilization time;
- Process pressure;
- Process time;
- Power;
- Flushing;
- Venting.

Durante o *pumping down*, os gases são extraídos do interior da câmara, até se atingir um nível de vácuo pré-definido. Após ser atingido o referido vácuo, começam a entrar os gases de processamento; ao tempo decorrido até se atingir a estabilização dos gases dá-se o nome de *gas stabilization time*. No fim deste período, em que há um aumento da pressão devido à injeção dos gases (*process pressure*), é ligado automaticamente o gerador e começa o processo de plasma, durante um tempo pré-definido, designado por *process time*. Posteriormente, é necessário remover gases que poderão ser prejudiciais para a saúde (que serão removidos através do sistema de exaustão), razão pela qual se purga a câmara com um outro gás (N₂) – *Flushing*. Por fim, é injectado ar para o interior da câmara até se atingir a pressão atmosférica, seguindo-se a abertura da câmara (*venting*).

3.3.2- Parâmetros do Processo

Os parâmetros do processo de plasma utilizados na empresa são os seguintes:

- Pumping down: 3 minutos (tempo máximo)
- Gás stabilization time: 30 segundos;
- Process Pressure: 0.20 mbar¹;
- Process Time: 4 minutos;
- Power: 60%;
- Flushing: 20 segundos;
- Venting: 40 segundos (tempo máximo).

Consoante o tipo e o modelo do equipamento, podem ocorrer algumas alterações de alguns parâmetros, muito embora os chamados “parâmetros de processamento” (parâmetros que influenciam directamente a qualidade do produto), nomeadamente a pressão, a potência e o tempo de processamento, são os mesmos para todos os equipamentos.

Os equipamentos Diener usam oxigénio e hidrogénio como gases de processamento enquanto que os March usam oxigénio e árgon.

¹ A unidade de pressão no S.I. corresponde ao Pascal; no entanto, nesta dissertação adoptou-se o mbar por ser a unidade usada nos equipamentos desta unidade industrial, facilitando assim a directa correspondência ao protocolo usado.

3.4- Descrição do Defeito

Durante o processo de *PlasmaPreSBA*, ocorre, por vezes, o aparecimento de umas manchas no topo das unidades, na superfície do *mold compound*. Estas manchas, que têm um padrão constante, mas diferente entre os dois tipos de equipamentos, são apenas um defeito “estético”; funcionalmente, as unidades até podem ser boas, mas como não se consegue fazer a marcação na última etapa do processo (MSP – *Mark Scan and Pack*), estas unidades são imediatamente segregadas e eliminadas...

Esta taxa de não conformidade, associada a um defeito puramente estético, está na base desta dissertação.

Nos equipamentos Diener, as unidades afectadas correspondem a um substrato completo de uma *magazine*, sempre o do topo. Nestes equipamentos (e principalmente em alguns produtos), a mancha tem precisamente o formato do *die*. Nos equipamentos March, o padrão é mais aleatório, centrando-se numa zona específica do equipamento: na prateleira inferior e na parte traseira da câmara. Aqui, as manchas espalham-se por toda a unidade, havendo algumas em que se regista uma espécie de “*dégradé*” no topo da unidade.

4- Procedimento Experimental

Parte I:

Para efectuar a caracterização das manchas, foram enviadas unidades com o referido defeito para os laboratórios da QPT.

Inicialmente, foram feitas medições de espessura (a 3 unidades de um produto específico): do *die* (d), do *mold compound* acima do *die* (c) e do *mold compound* acima do substrato, em ambos os lados (a e b). Pretendia-se com estas medições verificar a ocorrência de variações de espessura que pudessem justificar o aparecimento do *die* à superfície da unidade.

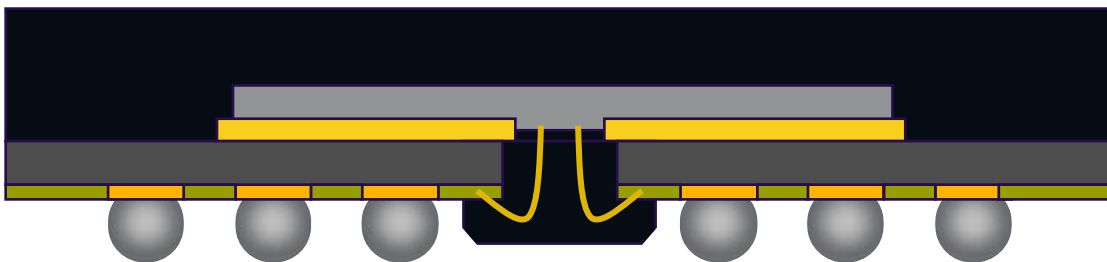


Fig. 5 Representação esquemática de uma memória, em que as letras representam as medições de espessura acima do substrato, em ambos os lados (a e b), de *mold compound* acima do die (c) e do die (d).

Foram ainda efectuadas análises em SEM/EDX a fim de caracterizar a superfície afectada e estabelecer a comparação com unidades boas, ou não afectadas, e ainda em unidades antes de serem submetidas ao tratamento de plasma. Obtiveram-se, em SEM, fotomicrografias das diferentes unidades e, por recurso à análise EDX, espectros relativos a diferentes zonas. O equipamento utilizado foi “Hitachi S 4700” e “OXFORD Link ISIS”, utilizando uma tensão de 10KV.

Parte II:

Para tentar encontrar um factor (“*root cause*”) que permitisse explicar o aparecimento das manchas de plasma, foi feita a rastreabilidade de processamento dos lotes afectados, nomeadamente em termos de equipamentos onde foram processados (máquinas de moldação, fornos de cura e plasmas), produto, tipo de *mold compound*, data.

Na recolha desta informação usaram-se ferramentas informáticas (*Business Objects* e *Operator Work Space*), próprias da empresa. O estudo foi efectuado desde o início de 2008 até 8 de Julho do mesmo ano, que corresponde a um total de 939 lotes estudados.

Parte III:

Em Maio deste ano foi feita uma alteração da receita usada no processo de Plasma PreSBA (nos March). Esta alteração consistiu na redução do caudal de injeção de oxigénio para a câmara de plasma, de 25 para 5 sccm (*standard cubic centimeter*). Foi efectuada a análise da variação da taxa de não conformidade (*yield loss*) antes e após a alteração da receita para verificar o efeito do oxigénio nas manchas de plasma. Esta alteração foi feita no dia 20 de Maio e os resultados foram calculados desde essa data até dia 8 de Julho, correspondendo a um total de 211 lotes estudados.

Parte IV:

Para tentar correlacionar o número de *shots* das *tools* de moldação, foi efectuada uma alteração no *lot traveller*; esta alteração consistiu na introdução de um campo na operação de *Molding* em que os operadores teriam de escrever o número de *shots* de cada *tool* de moldação, quando fazem o *Move In* de cada lote para o equipamento. Foi pedido aos operadores de *Singulation* que, após fazerem um *split* com manchas de plasma de um determinado lote, escrevessem o número de *shots* de cada uma das *tools* de moldação utilizada para processar o referido lote.

Foram introduzidos os dados no MiniTab para verificar se existia alguma correlação entre estas duas variáveis.

Esta análise foi efectuada em lotes processados entre o dia 21 de Junho e o dia 10 de Julho de 2008, correspondendo a um total de 25 lotes estudados.

Parte V:

Para testar a existência de impacto do posicionamento das *magazines* no equipamento (com os substratos posicionados com os *pads* para baixo), foi feita uma experiência durante uma semana (semana 41 do calendário fiscal, a que corresponde a semana 29 do calendário civil) onde se colocaram as *magazines* ao contrário, ou seja, com os substratos com os *pads* para cima.

Esta ideia surgiu após observação de alguns substratos que apresentavam um padrão idêntico ao que se pode observar na figura 6.

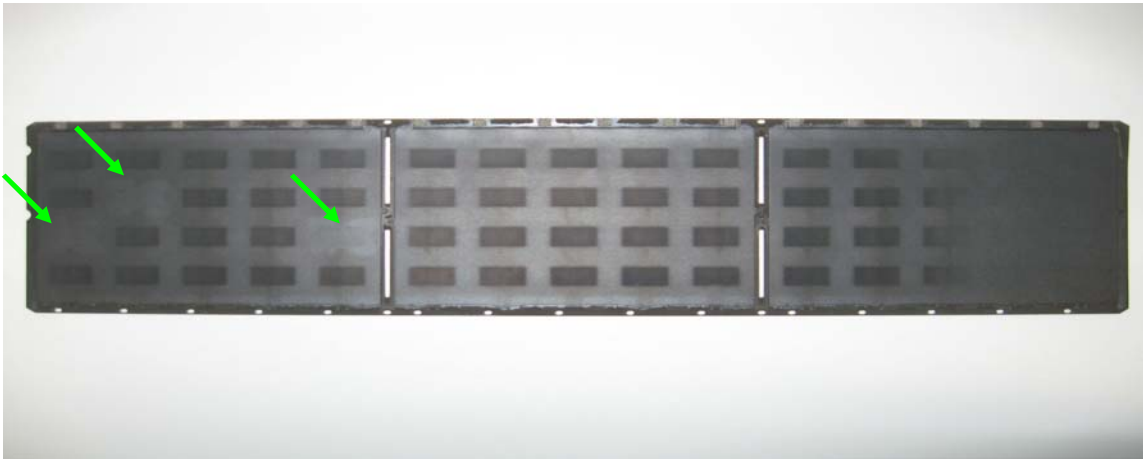


Fig. 6 Substrato afectado com manchas de plasma, excepto em 3 unidades (assinaladas com a seta verde) e no canto direito.

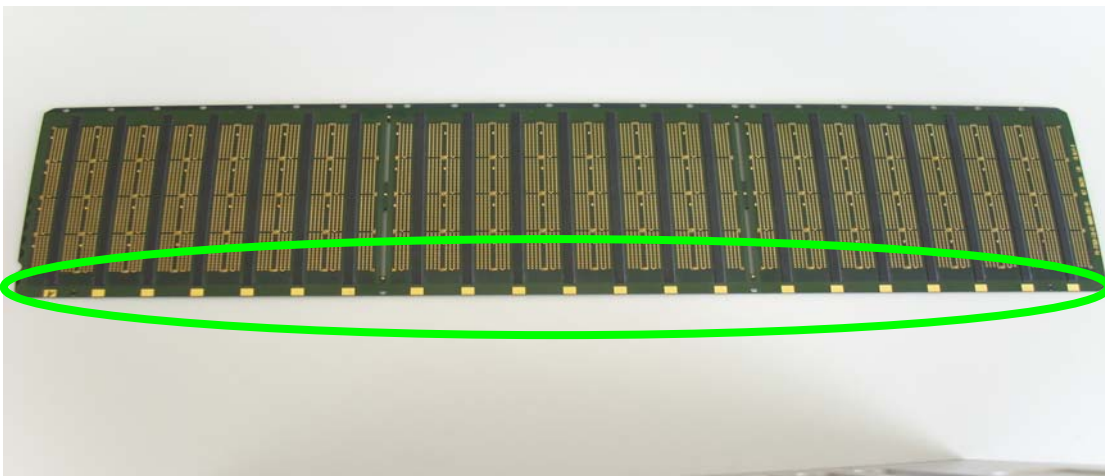


Fig. 7 Substrato evidenciando os *NSD contacts*.



Fig. 8 Imagem do interior do equipamento de plasma Diener Tetra 150.

Parte VI

Dada a aleatoriedade do aparecimento do defeito, decidiu-se testar a possibilidade de ocorrência de um aumento esporádico de densidades de plasma durante o processamento do material.

Para tal, colocou-se um vidro temperado (com 10 mm de espessura) na prateleira inferior de um equipamento de plasma March, o MONPLC #08. A ideia seria testar a possibilidade de diminuir a densidade de plasma, na zona do equipamento onde o defeito ocorre.

Esta alteração foi efectuada no dia 17 de Julho de 2008.



Fig. 9 Imagem do interior do equipamento de plasma March sem (a) e com (b) o vidro temperado colocado na prateleira inferior do equipamento.

5- Resultados

Parte I:

Tabela 2: Resultados das medições da espessura do *die*, da espessura de *mold compound* acima do *die*, e ainda da espessura de *mold compound* acima do substrato, a 3 unidades para cada caso (ver em anexo as imagens referentes a cada medição).

		Espessura de <i>Mold Compound</i> (μm)			Espessura do <i>die</i> (μm)
		Esquerda	Centro	Direita	
Sem Plasma	1	510,00	263,37	504,98	201,06
	2	506,65	258,38	506,65	203,55
	3	501,64	256,72	506,65	202,72
Com plasma, sem manchas	1	498,29	250,91	503,31	201,89
	2	503,31	252,57	501,64	202,72
	3	503,31	250,08	499,97	204,38
Com plasma, com manchas	1	506,65	258,38	513,34	201,06
	2	506,65	250,91	499,97	203,55
	3	516,69	260,88	508,33	201,89

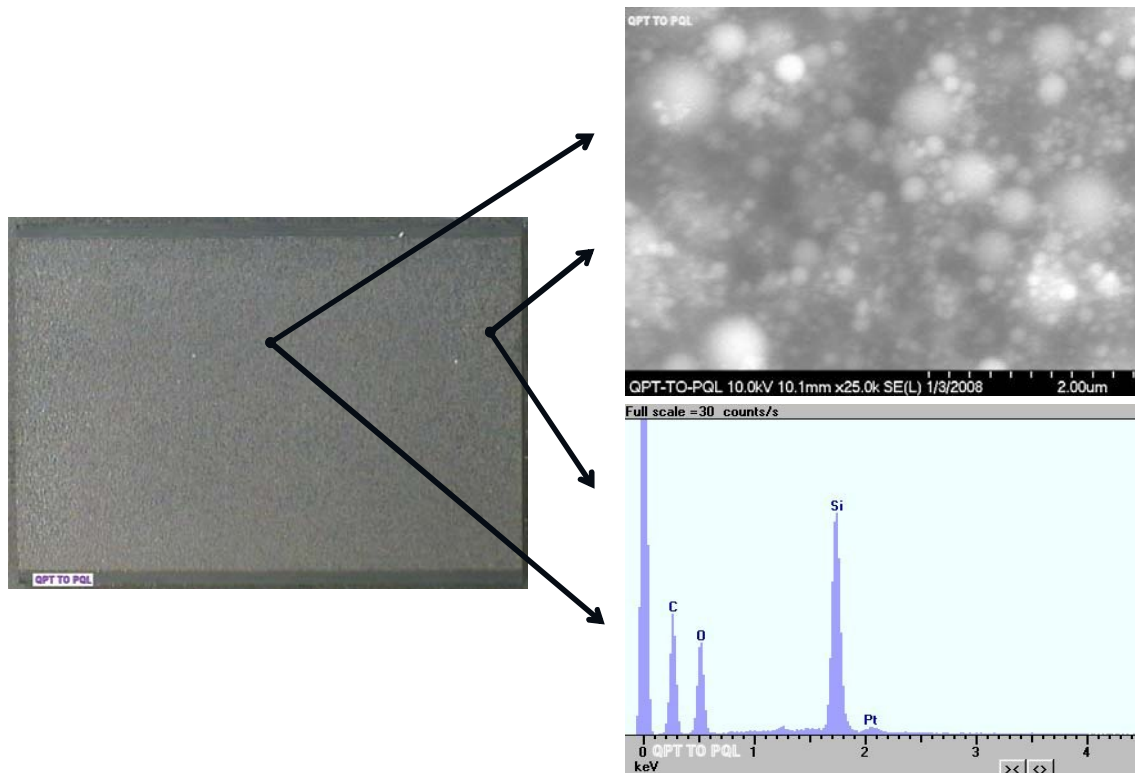


Fig. 10 Imagem de uma unidade não submetida a plasma e respectiva fotomicrografia obtida em SEM e difractograma relativo à análise em EDX.

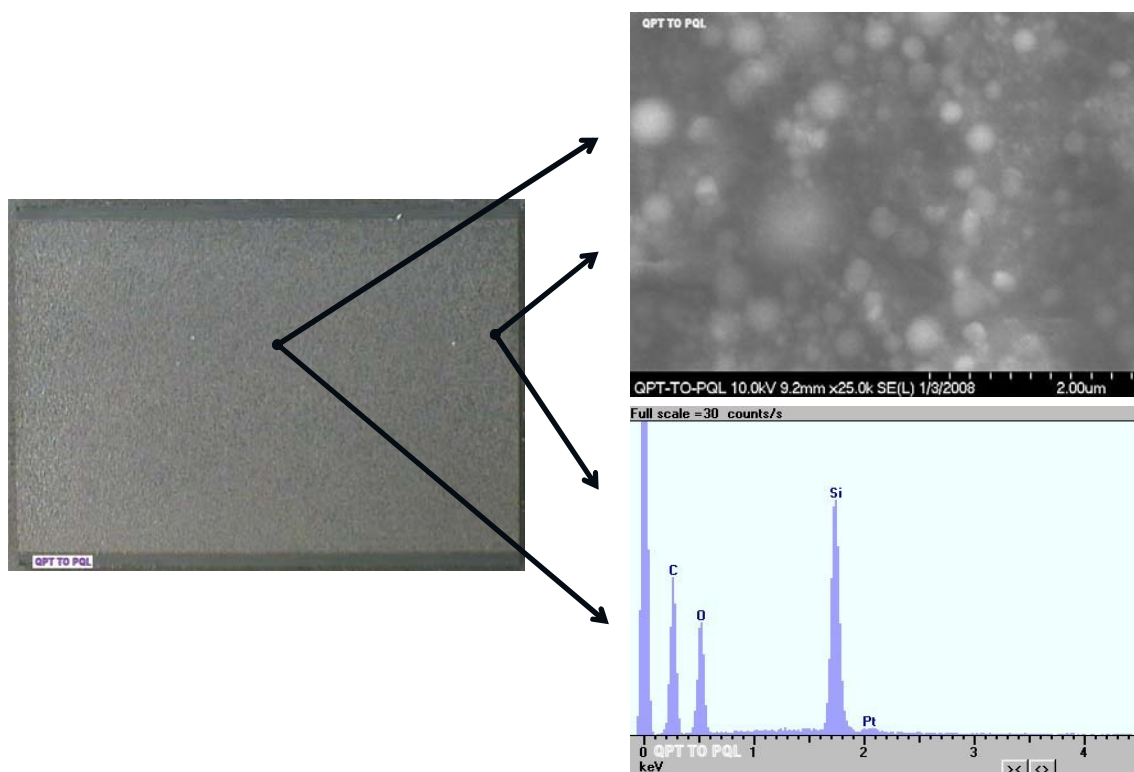


Fig. 11 Imagem de uma unidade que, após operação de plasma, não apresentava manchas, e respectiva fotomicrografia obtida em SEM e difractograma relativo à análise em EDX.

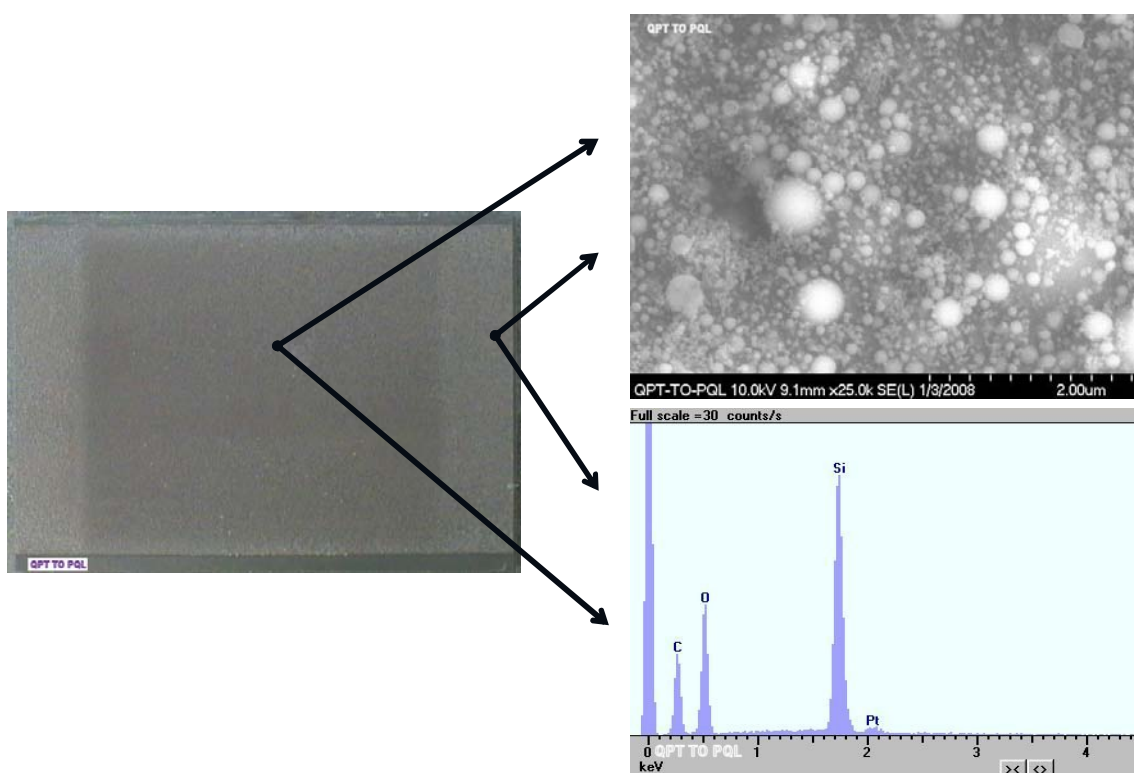


Fig. 12 Imagem de uma unidade que, após operação de plasma, apresentava manchas, e respectiva fotomicrografia obtida em SEM e difractograma relativo à análise em EDX.

Parte II:

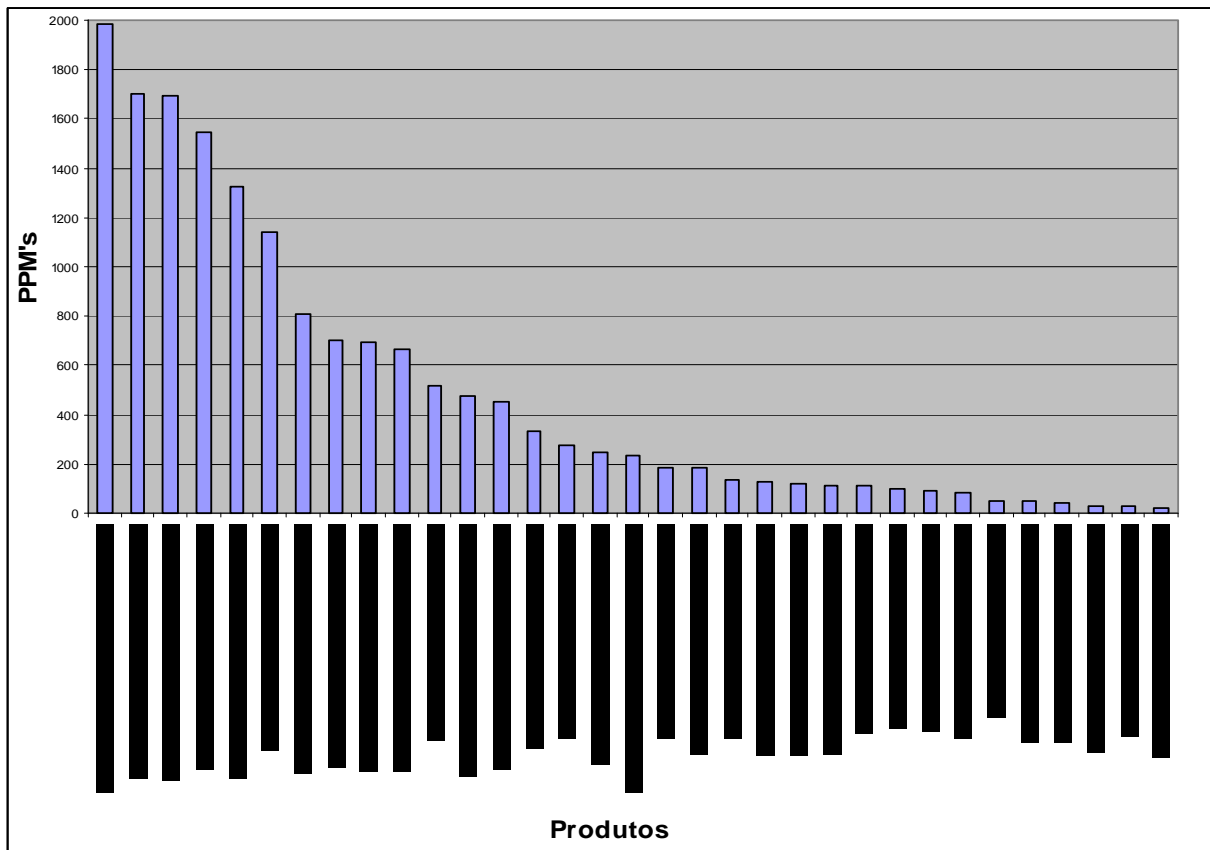


Fig. 13 Análise de Pareto de perdas (taxa de não conformidade) relativas a cada produto.

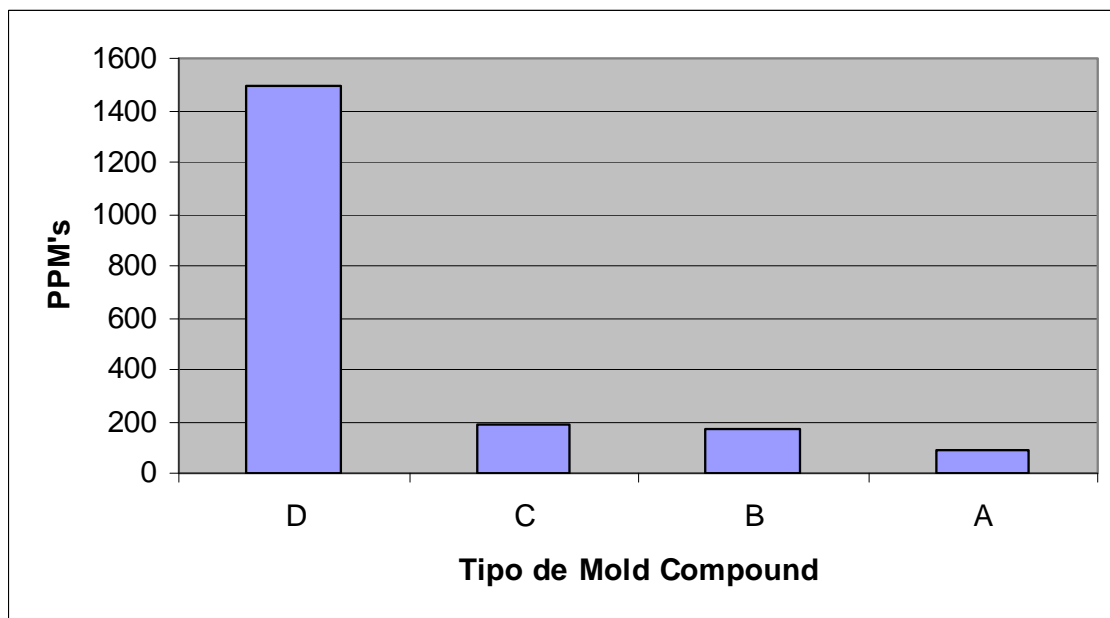


Fig. 14 Análise de Pareto de perdas (taxa de não conformidade) por tipo de *mold compound*.

Nota: Os gráficos correspondentes à relação das falhas por diferentes equipamentos são apresentados em anexo.

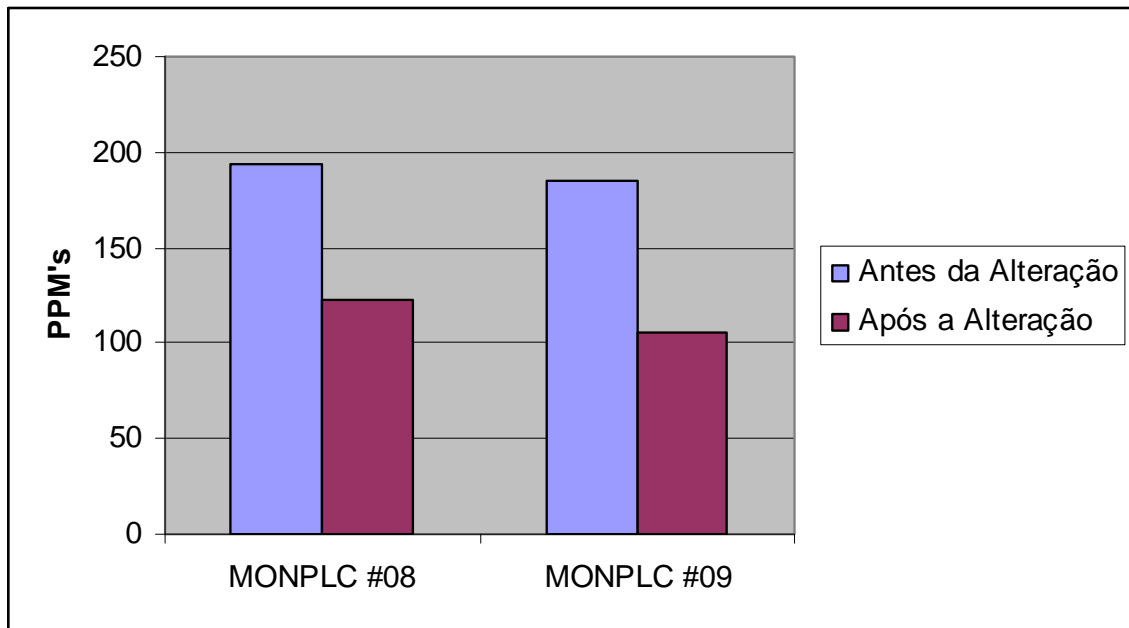
Parte III:

Fig. 15 Análise da perda (taxa de não conformidade) associada a cada equipamento March antes e após a alteração de um parâmetro do processo (redução do teor de oxigénio).

Parte IV:**Tabela 3:** Resultados da avaliação de lotes que apresentaram manchas de plasma e do número de *shots* das *tools* de moldação.

Lote	Quantidade	Produto	Máquina de Moldação	Tool #1	Tool #2	Tool #3	Tool #4
QL830041G44	40	256M T90 84 Step3	8	107	107	107	X
QL830124G12	112	256M T90 84 Step3	8	469	X	X	X
3A825146G48	48	512M GV70 Step3	9	X	220	220	X
AC816403G03	68	1G T90 68 Step2	1	62	70	86	X
3A736480G74	74	1G T70 60 Step3	7	66	65	X	X
AC815696G96	70	512M T80 60 Step3	13	424	415	405	X
AC817559G91	91	512M T80 84 Step3	12	65	X	68	X
QW834188G66	57	256M D11 60 Step2	2	110	X	110	X
QW839374G30	30	256M D11 60 Step2	2	20	19	19	X
ZA819158G49	49	256M LS14 54 Step2	2	153	X	X	X
QL830119G89	89	512M T80 60 Step3	13	367	396	396	386
QL828269G95	95	512M T80 84 Step3	12	19	20	17	X
AC819007G22	43	512M D90 60 Step2	1	97	96	95	X
3A827119G59	59	512M GRD70 Step3	9	420	X	420	X
AC819027G69	60	512M D90 60 Step2	1	347	349	350	X
AC819034G55	21	512M D90 60 Step2	1	347	349	350	X
QW832442G59	59	256M S11N Step2	1	153	383	201	X
AC820037G22	13	512M D90 60 Step2	6	X	412	253	X
AC820021G55	31	512M D90 60 Step2	1	170	170	170	X
AC820021G77	15	512M D90 60 Step2	6	11	10	10	X
QW828650G55	39	256M T11 84 Step2	1	349	347	X	X
AC820032G69	56	512M D90 60 Step2	1	145	142	142	X
QW834201G34	34	256M D11 60 Step2	6	132	X	137	X
AD819467G65	165	1G T70N 60 Step4	3	121	120	117	X
QW837967G57	57	256M D11 60 Step2	6	196	X	213	X

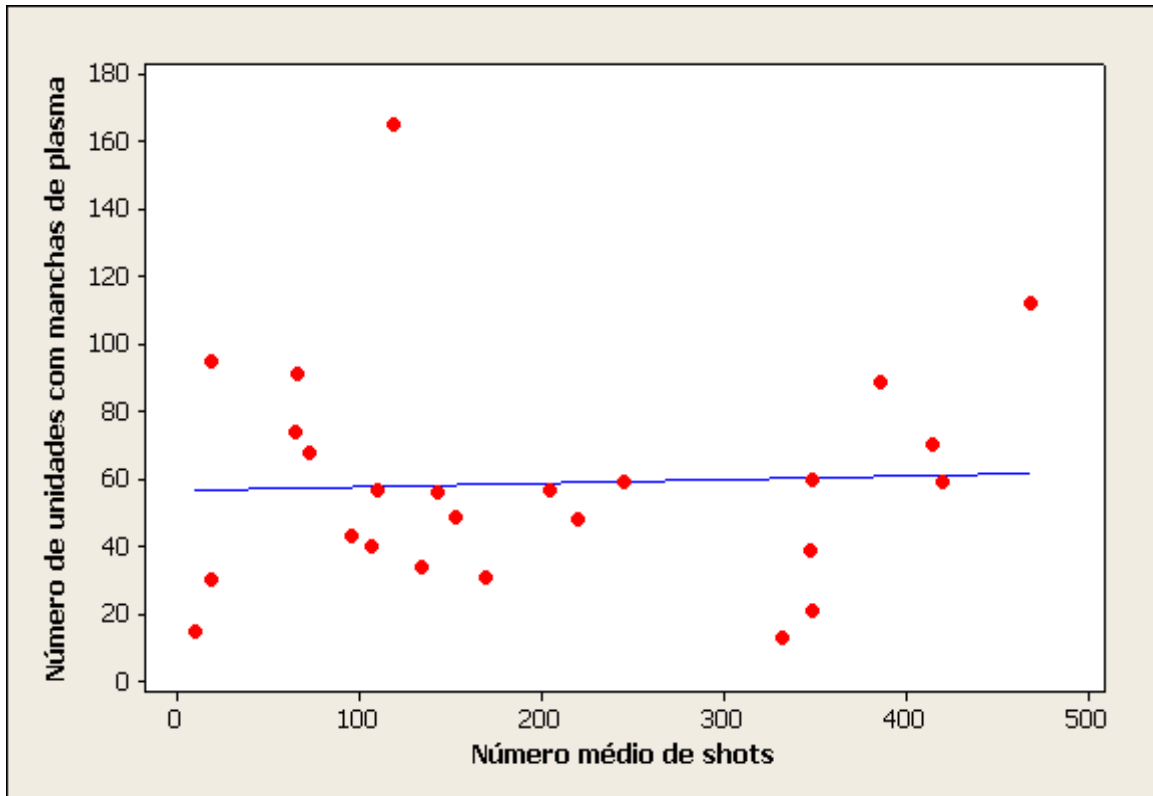


Fig. 16 Correlação entre o número de manchas de plasma e o número médio de *shots* das *tools* de moldação.

p-Value: 0.828

Coefficiente de correlação de Pearson: 0.046

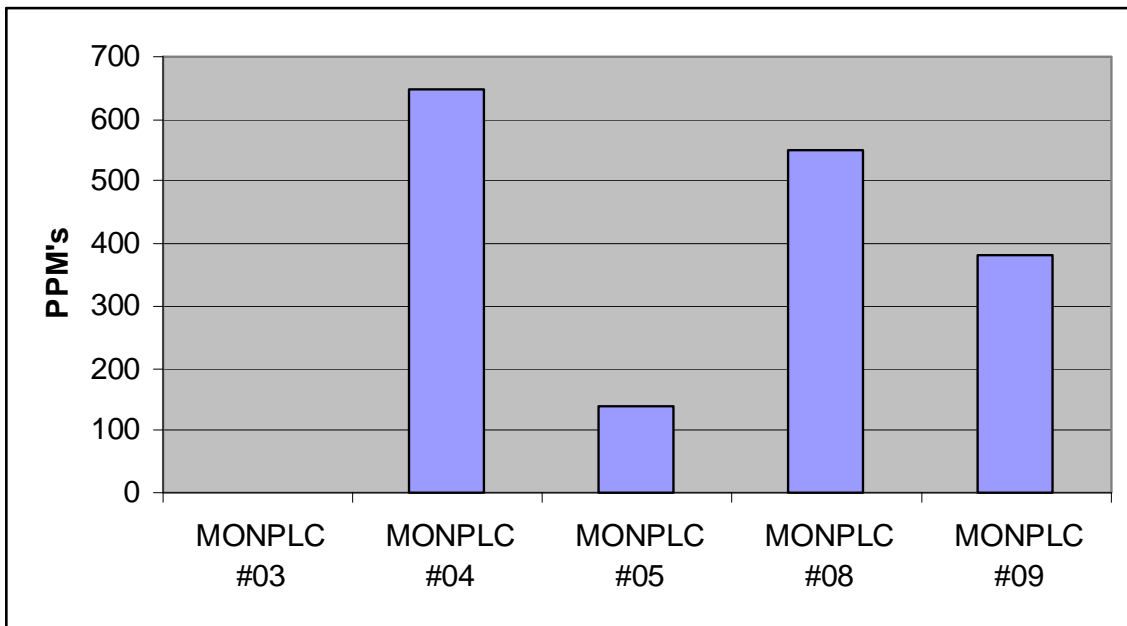
Parte V:

Fig. 17 Análise da perda associada aos equipamentos de plasma durante o período em que se fez a inversão da colocação das magazines nos equipamentos.

Parte VI:

Até à data (30 de Agosto de 2008), ainda não houve ocorrências, neste equipamento (MONPLC #08), de nenhum lote afectado com manchas de plasma.

6- Discussão

Antes de começar a discutir os resultados obtidos, convém explicar que os dados recolhidos são apenas os referentes aos *splits* com manchas de plasma e não à totalidade de ocorrências do defeito que ocorre na linha. O procedimento em vigor, definido pela engenharia, estabelece um valor máximo a partir do qual os operadores não podem dar baixa, em sistema, de unidades afectadas, por tipo de defeito. Neste caso, foi decidido que falhas até 10 unidades, os operadores poderiam dar baixa directa; para casos superiores a esse valor, teriam de fazer *split* e colocar esse mesmo *split* à atenção da engenharia, ou seja, todos os lotes (*splits*) estudados correspondem a lotes de dimensão superior a 10 unidades.

O primeiro passo desta dissertação foi efectuar medições de espessura a várias unidades de diferentes produtos, depois de se constatar que se via uma mancha mais escura com a forma do *die* no topo de cada unidade (no caso de unidades processadas

nos equipamentos Diener), ou manchas aleatórias (no caso de unidades processadas nos equipamentos March), tal como já explicado no capítulo 3.4 – “Descrição do Defeito”. Inicialmente, pensou-se que poderia haver algum problema durante o processamento dos substratos que levasse a que a espessura de *mold compound* fosse inferior ao especificado pela QPT, ao ponto de se conseguir ver uma mancha na superfície da unidade. Assim, com estas medições pretendia-se verificar se existia alguma diferença de espessura entre o centro e os cantos da unidade, bem como saber se haveria diferenças na espessura do *die*. Conforme se pode ver na tabela 2, não existem variações relevantes a nível da espessura nos cantos da unidade, ou seja entre o substrato e o topo do *mold compound*. Relativamente ao centro da unidade, também não existem diferenças relevantes. Aparentemente, ao adicionar a espessura do *die* com a espessura de *mold compound* acima do *die*, obtém-se um valor inferior ao valor medido nos cantos. No entanto, dado que ainda há que somar a espessura da resina epoxi, onde é colocado o *die* (que depende do produto mas tem um valor especificado que varia entre 35 e 45 μm), já se obtém um valor muito próximo do obtido nas extremidades das unidades.

Foram também efectuadas análises em SEM/EDX de unidades não submetidas a plasma, outras que, após plasma, não apresentavam manchas, e ainda outras que, após essa mesma operação, apresentavam manchas. Pretendeu-se com estas análises caracterizar a superfície de *mold compound* das diferentes unidades. Conforme se pode ver nas figuras 10 e 11, não existem grandes diferenças entre as unidades que não foram submetidas ao processo de plasma e as que, embora tenham sido submetidas ao referido processo, não apresentam manchas. Os picos nos espectros de EDX do silício, oxigénio e carbono resultam da composição do *mold compound*. O silício provém dos *fillers*, o carbono da resina e o oxigénio pode provir dos *fillers* e/ou da resina. Na figura 12, regista-se algo semelhante a um ataque à superfície do *mold compound*, resultante da remoção das resinas que se encontravam no topo da unidade. As pequenas “esferas” que se vêem na figura, são relativas aos *fillers*, razão pela qual se regista um acréscimo de silício e de oxigénio no espectro EDX (referente à unidade que foi sujeita à operação de plasma e que apresentava manchas). Comparativamente com os outros dois espectros, também se nota uma diminuição do pico referente ao carbono, elemento fundamentalmente presente na resina.

Relativamente à análise dos lotes afectados, convém primeiro explicar o porquê de todos os gráficos apresentados estarem em ppm’s (partes por milhão): dada a enorme

variabilidade de produtos, equipamentos, tipos de *mold compound*, capacidades de equipamentos, diferentes volumes produzidos semanalmente, não se afigurava muito correcto apresentar os cálculos a nível percentual, pois iria falsear os resultados e induzir em erro. Ao calcular os indicadores apresentados em ppm's, obtém-se uma noção real (e correcta) das falhas que ocorreram, ou seja da taxa de não conformidades (*yield loss*). Não é possível dissociar completamente as figuras 13 e 14, ou seja, o cálculo das falhas por produto e por tipo de *mold compound*, uma vez que diferentes produtos podem usar diferentes tipos de *mold compound*; contudo, tal não significa que os produtos mais afectados correspondam ao tipo de *mold compound* igualmente mais afectado. Por exemplo, de acordo com a análise de Pareto das falhas por produto, três dos quatros produtos com maior taxa de não conformidades (*yield loss*) usam o tipo de *mold compound* B que, conforme se pode ver na figura 14, não é o mais afectado. O tipo de *mold compound* mais afectado (tipo D), deve-se ao facto de conter uma maior percentagem de carbono, comparativamente com os outros três tipos (tal como já referi, esta informação relativa a uma maior percentagem de carbono no tipo de *mold compound* D não está descrita na dissertação devido, mais uma vez, à confidencialidade de informação. No entanto, fica aqui esta nota para poder justificar o pico representado na figura 14). Durante o processo de *Molding*, 95% da cura já está realizada (os outros 5% são efectuados no processo de *MoldCure*). Durante a cura, ocorre a migração do carbono à superfície pelo que, se um determinado tipo de *mold compound* apresentar um maior teor em carbono, é muito provável que haja maior propensão ao aparecimento de manchas de plasma. Contudo, não é possível diminuir o teor de carbono no *mold compound* porque isso afectaria o processo de marcação das unidades. O processo de marcação, MSP (*Mark Scan and Pack*), é a última etapa do processo de fabrico de memórias na QIMONDA Portugal SA e é onde se procede à marcação das unidades com toda a logística necessária bem como o embalamento das unidades. Durante a marcação feita a laser, o carbono é necessário a fim de se obter uma correcta marcação; caso contrário, a marcação não é bem sucedida. O laser, ao incidir na superfície do *mold compound*, vai “rebentar” o carbono e criar um contraste na superfície.

Dado que o oxigénio é uma espécie activa, decidiu-se reduzir o caudal de injeção deste elemento nos equipamentos March, aumentando ligeiramente o de árgon, que é um gás inerte (esta alteração não foi feita nos equipamentos Diener uma vez que, de acordo com os requisitos da empresa, já é usado o valor mínimo). Os resultados mostram que, após cerca de 6 semanas com esta alteração, obteve-se uma diminuição de

cerca de 70 ppm's. O oxigénio é usado para remover contaminações orgânicas (e daí não ser recomendável eliminá-lo); dada a sua grande afinidade para se combinar com o carbono, forma CO₂ que, posteriormente, é removido pelo sistema de exaustão. Se à superfície das unidades temos uma grande percentagem de carbono, sob determinadas condições (aumentos esporádicos de densidade de plasma?), o oxigénio deve reagir com este elemento e também formar CO₂.

Depois de ter conhecimento de um estudo elaborado na QIMONDA de Dresden que relacionava as manchas de plasma com o número de *shots* das *tools* de moldação, decidiu-se testar essa hipótese. No entanto, como se pode ver na tabela 3 e na figura 16, não existe qualquer relação entre estas duas variáveis. Como o coeficiente de correlação de Pearson é muito próximo de 0 (0.046), significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

Este estudo tem uma amostragem mais reduzida devido á burocracia necessária para ter acesso à informação pretendida. Dado que o número de *shots* das *tools* de moldação não é uma informação que se possa recolher facilmente, teve de se fazer uma alteração no *lot traveller* (introduzir um campo para registo do número de *shots* que cada *tool* tinha no momento do *Move In* do lote), pedir um trabalho extra aos operadores do processo de *Molding* (preencher o referido campo em todos os lotes processados) e, posteriormente, pedir também um trabalho extra aos operadores de *Singulation* para que, sempre que tivessem de fazer um *split* por manchas de plasma, registarem a informação do número de *shots* no *lot traveller* do *split*. Por esta razão, tive de cingir este estudo a um período de tempo pré-estabelecido com a Engenharia de Produção, tentando manter um compromisso de ter uma boa amostragem nos resultados, sem causar muita entropia na linha de produção.

O facto de ter uma amostra mais reduzida, comparativamente com as restantes avaliações, talvez possa justificar o facto de não ter encontrado uma correlação entre as manchas de plasma e o número de *shots* das *tools* de moldação, tal como aconteceu em Dresden.

Por vezes, ocorrem casos como o representado na figura 6: substratos totalmente afectados excepto em algumas unidades. Após analisar esses mesmos substratos, notou-se que as unidades não afectadas eram BUM's (*Bad Unit Marks*), provenientes do fornecedor. A única diferença destas unidades para as restantes é que não são submetidas ao processo de *Wire Bond*, para não dispender, de forma desnecessária, fio de ouro. Ora, se não temos fio de ouro, não existe passagem de corrente até ao *die*. Ou

seja: as *magazines* estão colocadas em eléctrodos que, por sua vez, estão ligadas ao gerador do equipamento, ou seja, estão carregadas electricamente (ver figura 8). Assim tem-se passagem de corrente entre os eléctrodos e a *magazine*, da *magazine* para o substrato (através de umas tiras laterais dos substratos, em ouro, que servem para fazer a ligação do fio terra no processo de *Wire Bond*, ver figura 7) e deste, a corrente passa internamente (através das pistas de cobre, ver figura 3) até ao fio de ouro, que passa até ao *die*, excepto nas referidas unidades BUM. O *mold compound*, embora seja um material dieléctrico (constante dieléctrica = 4.5), é um pouco poroso, pelo que pode deixar passar alguma corrente através da sua massa, principalmente devido à sua reduzida espessura (cerca de 250 μm , conforme se pode ver na tabela 2). Aliado a este facto, existe sempre ionização de gases entre os substratos, ou seja, temos sempre electrões livres disponíveis.

Por este motivo, foi testada a rotação da *magazine* de 180°, ou seja, de forma aos *pads* ficarem para cima, impedindo o contacto das referidas tiras laterais em ouro com a *magazine* e, conseqüentemente, impossibilitando a passagem de corrente para o interior do substrato. Os resultados mostraram uma degradação na taxa de conformidade (*yield*) desta falha, razão pela qual apenas se testou durante uma semana. De notar que o facto de não aparecer nenhuma falha no plasma 3 (MONPLC #03) deve-se à sua reduzida capacidade; só tendo capacidade para processar duas *magazines* de cada vez (e tendo excesso de capacidade nesta operação), os operadores raramente utilizam este equipamento, preferindo utilizar outro, com maiores capacidades. O volume produzido nessa semana no referido equipamento foi de 78.000 unidades enquanto que, por exemplo, no MONPLC #09 foi de 2.843.680 unidades, para o mesmo período de tempo.

Dado que o aparecimento das manchas de plasma é um fenómeno aleatório e um plasma é um sistema não-homogéneo, decidiu-se testar a possibilidade de ocorrerem aumentos de densidade de plasma no interior da câmara. Após falar com o fornecedor dos equipamentos, tentou-se encontrar uma forma de reduzir a densidade de plasma, sem prejudicar a eficácia do processo. O vidro foi a solução encontrada e, após alguns dias após a implementação desta alteração, os resultados mostram que não voltaram a haver ocorrências de manchas no *mold compound*, neste equipamento. O facto de se ter colocado uma peça cerâmica na prateleira inferior do equipamento (*Ground Shelf*), fez com que se reduzisse a passagem de corrente, logo, possíveis aumentos localizados de densidades de plasma. Como a *magazine* está pousada directamente no eléctrodo e a parte de trás da *magazine* está muito perto das barras que fazem a ligação à corrente (na

parte traseira da máquina), poderá haver um aumento de densidade de plasma nestas zonas. Colocando o vidro, a *magazine* deixa de fazer parte integrante do eléctrodo, evitando assim zonas de plasma localizado.

É importante referir que, em cada alteração que era feita, tinham que se realizar testes a fim de verificar a qualidade do produto. Para isto, foi efectuado o *Ink Test*, em algumas unidades de alguns lotes processados após cada alteração. Foi igualmente dada especial atenção à taxa de conformidade (*yield*) relativa a *golden pads* e pontes entre bolas e também foram monitorizados os resultados de *Fast Ball Shear Test*.

7- Conclusões

Em termos de conclusões deste trabalho, pode-se afirmar que o oxigénio tem um grande efeito no aparecimento das manchas de plasma.

Colocando uma placa cerâmica na prateleira inferior do equipamento, a ocorrência de aumentos de densidades de plasma, desaparecem. Assim, pode também afirmar-se que, no caso em estudo, uma placa em vidro temperado, com 10 mm de espessura, é suficiente para resolver o problema e evitar o aparecimento das manchas.

Outra conclusão importante é a percentagem de carbono no *mold compound*: quanto maior, maior é a possibilidade de aparecimento deste defeito.

Colocar os substratos nos equipamentos de plasma com os *pads* para cima, tem um efeito negativo no aparecimento desta falha.

Não existe qualquer relação entre as manchas de plasma e os equipamentos (máquinas de moldação, fornos de cura ou equipamentos de plasma), nem com o número de *shots* das *tools* de moldação.

8- Estudos Futuros

Como trabalho futuro, deve-se validar a questão da colocação do vidro temperado no outro equipamento March (MONPLC #09).

Tentar arranjar uma solução semelhante para os outros plasmas (Diener).

Um aspecto a melhorar será aumentar o tamanho da amostra no estudo relativo á correlação entre o número de *shots* das *tools* de moldação e as manchas de plasma.

9- Bibliografia

- [1] - http://media.wiley.com/product_data/excerpt/45/07803471/0780347145.pdf
- [2] - http://mesonpi.cat.cbpf.br/e2006/graduacao/pdf_g1/G1-EscolaCBPF.pdf
- [3] - <http://www.fis.unb.br/plasmas/Aulas%20IFP.htm>
- [4] - “Low Temperature Plasma Physics – Fundamental Aspects and Applications”, R. Hippler, S. Pfau, M. Schmidt, K. H. Schoenbach, Wiley-VCH;
- [5] - http://www.marchplasma.com/sm/sm_whatism.htm
- [6] - “Plasma Physics and Engineering”, Fridman Alexander, Kennedy Lawrence A., Taylor and Francis Group
- [7] - “Plasma Process for Semiconductor Fabrication”, Hitchon W. N. G., Cambridge Studies in Semiconductor Physics and Microelectronic Engineering

Anexos

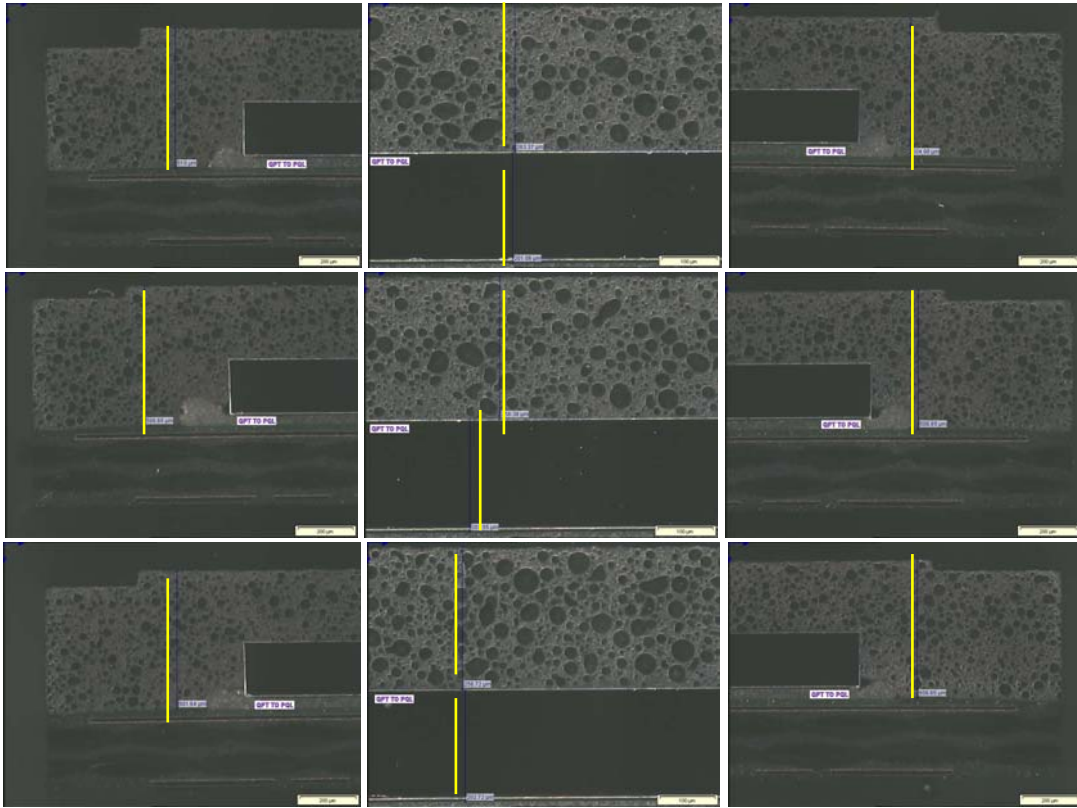


Fig. 18 Imagens ópticas das 3 unidades que não foram sujeitas ao processo de plasma, evidenciando onde foram efectuadas as diferentes medições.

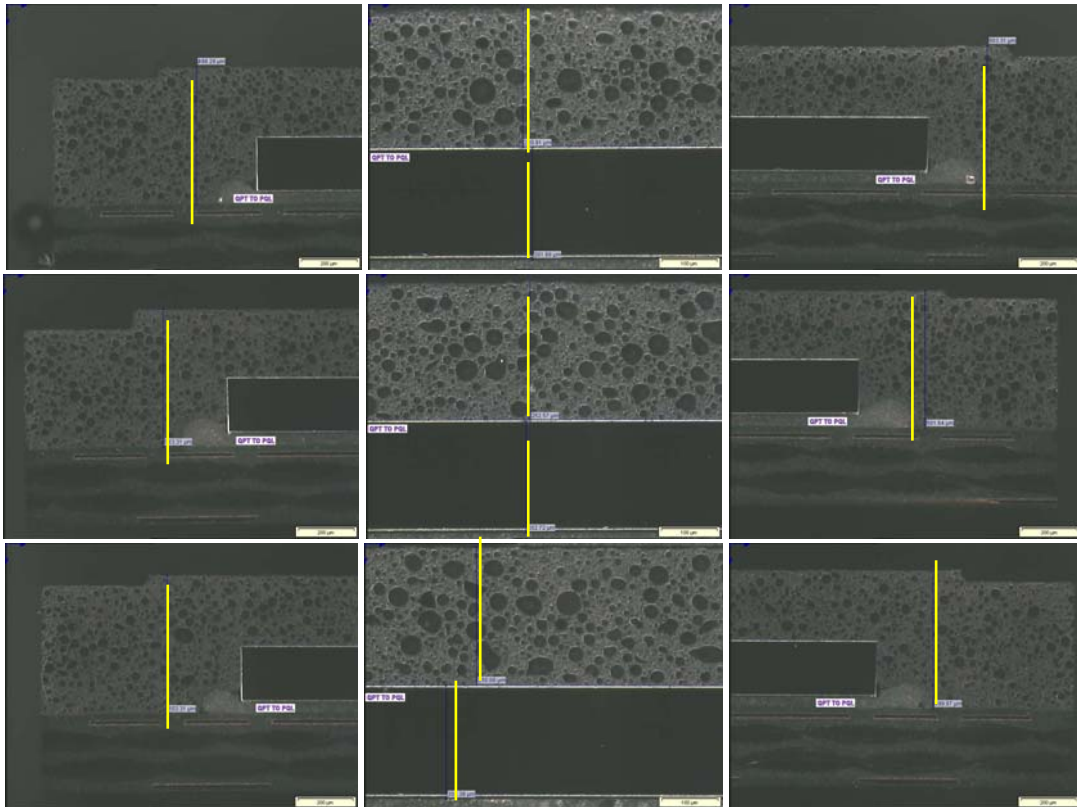


Fig. 19 Imagens ópticas das 3 unidades que foram sujeitas ao processo de plasma mas que não apresentavam manchas, evidenciando onde foram efectuadas as diferentes medições

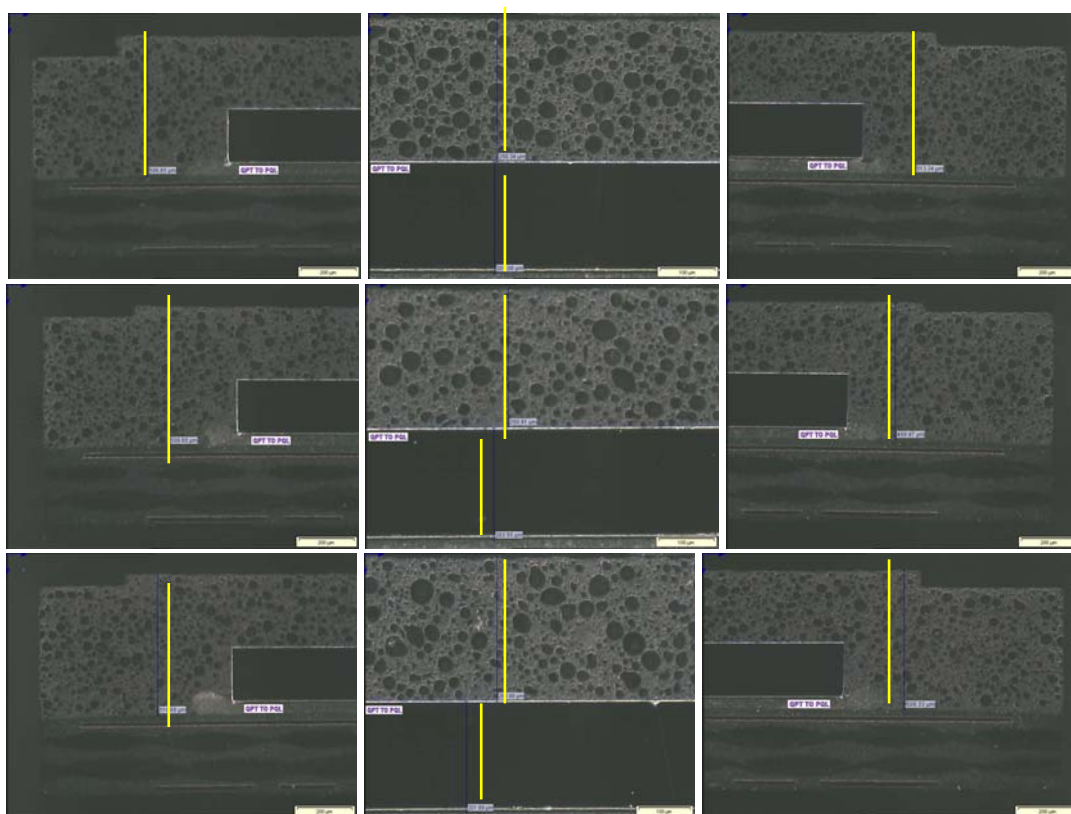


Fig. 20 Imagens ópticas das 3 unidades que foram sujeitas ao processo de plasma e que apresentavam manchas, evidenciando onde foram efectuadas as diferentes medições.

Tabela 4: Resultados das perdas (taxas de não conformidade) de cada produto.

Produto	Volume	Falhas	PPM's
PG-VFBGA-90 256M LD11N STANDARD	130420	259	1,986
PG-VFBGA-60 512M LD11 STANDARD	699355	1191	1,703
PG-TFBGA-54 256M LS14 STANDARD	1065495	1804	1,693
PG-TFBGA-60 512M D11 STANDARD	2811797	4347	1,546
PG-VFBGA-54 256M LS11 STANDARD	862432	1141	1,323
PG-TFBGA-71 1G T90 STANDARD	2274722	2591	1,139
PG-TFBGA-60 256M D11 STANDARD	3413887	2767	811
PG-TFBGA-84 512M T11 STANDARD	156222	110	704
PG-TFBGA-84 256M T11 STANDARD	1864763	1299	697
PG-TFBGA-60 256M T11 STANDARD	750369	499	665
PG-TFBGA-60 512M D80 STEP3	556877	287	515
PG-TFBGA-60 512M D90 STANDARD	19798212	9340	472
PG-TFBGA-54 256M S11 STANDARD	1283647	582	453
PG-TFBGA-84 512M T80G STEP4	611805	203	332
PG-TFBGA-84 512M T90 STEP3	7147655	1988	278
PG-TFBGA-104 512M GRD70 STEP3	2560584	644	252
PG-VFBGA-60 256M LD11N STANDARD	194640	46	236
PG-TFBGA-60 512M T90 STEP3	2284132	422	185
PG-TFBGA-136 512M GH90 STEP3	41637662	7640	183
PG-TFBGA-84 512M T80 STEP3	50683405	6783	134
PG-TFBGA-84 1G T90 STANDARD	1577192	204	129
PG-TFBGA-68 1G T90 STANDARD	3495755	412	118
PG-TFBGA-136 512M GH80 STEP3	11169334	1275	114
PG-TFBGA-136 1G GH70 STEP3	18312559	2054	112
PG-TFBGA-60 1G T70N STEP4	10034744	970	97
PG-TFBGA-60 512M T11 STEP3	14325360	1271	89
PG-TFBGA-60 512M T80 STEP3	56779863	4971	88
PG-TFBGA-60 1G T70 STEP3	13857149	733	53
PG-TFBGA-60 256M T90 STEP3	1586206	79	50
PG-TFBGA-84 256M T90 STEP3	25886188	1120	43
PG-TFBGA-170 512M GV70 STEP3	3362222	106	32
PG-TFBGA-78 512M H90 STEP3	2605266	73	28
PG-TFBGA-136 256M GH90 STEP3	2680933	50	19

Tabela 5: Resultados das perdas (taxas de não conformidade) por tipo de *mold compound*.

Mold Compound	Fails	Volume	PPM's
A	1076	11,820,810	91
B	40779	213,661,503	191
C	13074	79,416,752	165
D	2332	1,561,787	1,493

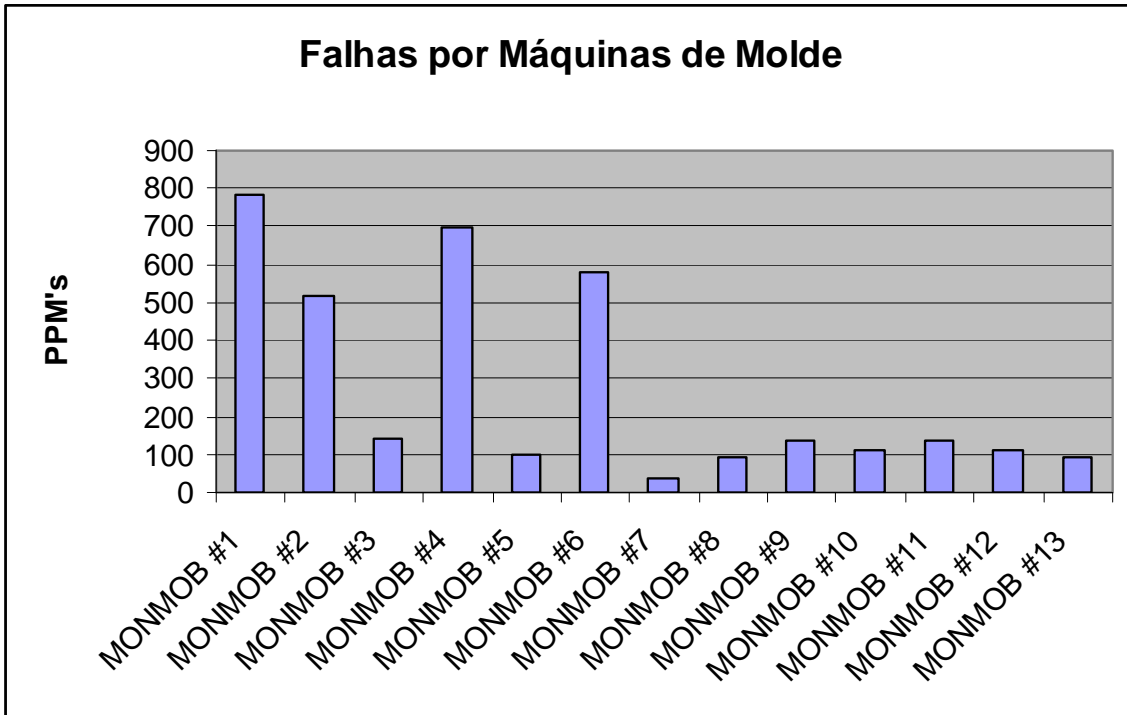


Fig. 21 Análise das falhas por máquinas de moldação.

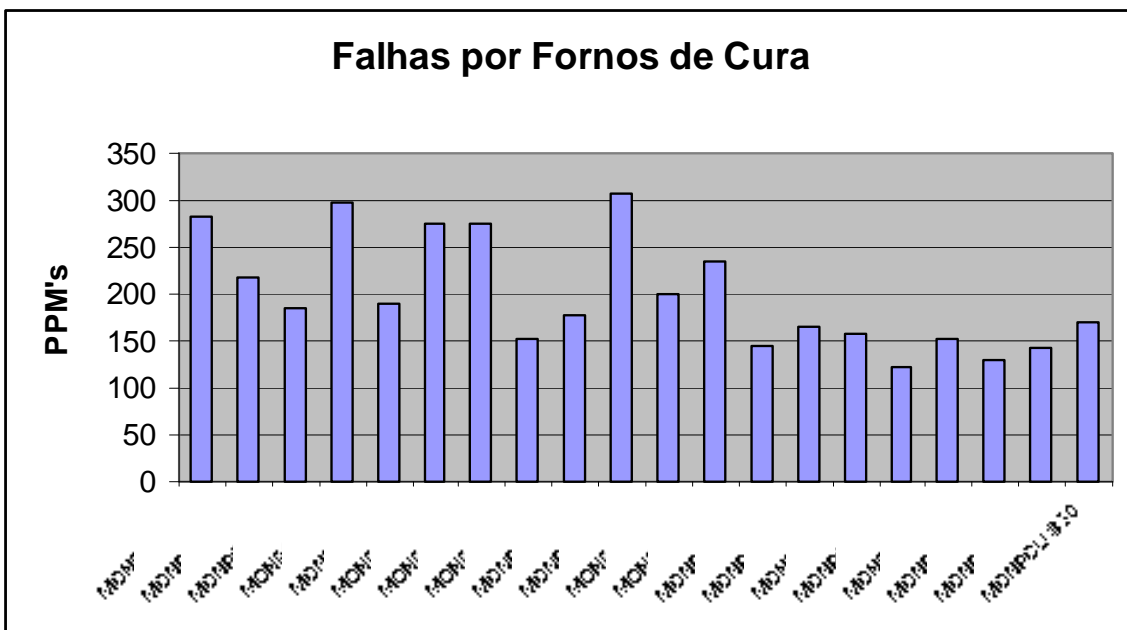


Fig. 22 Análise das falhas por fornos de cura.

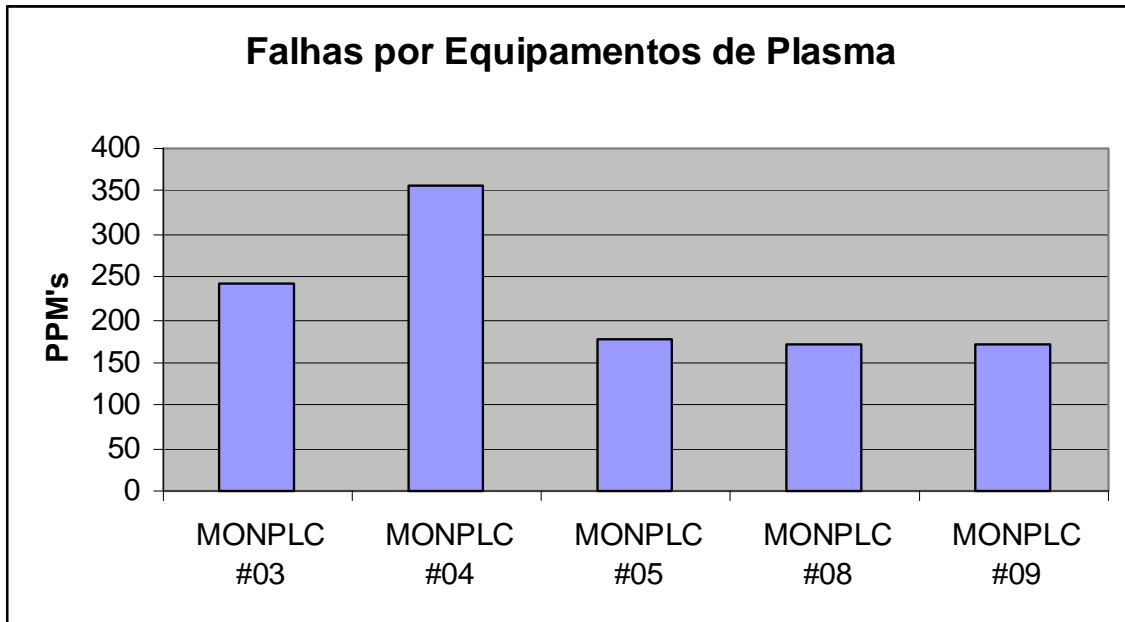


Fig. 23 Análise das falhas por equipamentos de plasma.

Tabela 6: Resultados da perda (taxa de não conformidade) associada a cada equipamento March antes e após a alteração de um parâmetro do processo (redução do teor de oxigénio).

	MONPLC #08	MONPLC #09
Antes da Alteração	193.3670525	185.3961194
Após a Alteração	123.0386973	105.7255317

Tabela 7: Resultados da perda (taxa de não conformidade) associada aos equipamentos de plasma durante o período em que se fez a inversão da colocação das magazines nos equipamentos.

	Falhas	Volume	PPM's
MONPLC #03	0	77863	0
MONPLC #04	293	452672	647.2678
MONPLC #05	360	2626277	137.0762
MONPLC #08	1366	2483417	550.0486
MONPLC #09	1090	2843680	383.3061