

目 次

1 範囲	1	4 部品に関する考慮事項	15
1.1 目的	1	4.1 半導体パッケージングの比較および推進要素	15
1.1.1 意図	1	4.1.1 パッケージ形状の比較	15
1.1.2 「～すること (英語: Shall)」という語彙の解釈	1	4.1.2 BGA パッケージの影響要因	16
1.1.3 単位に関する表記	1	4.1.3 コストに関する考慮事項	16
1.1.4 「リード (英語: Lead)」という語彙の使用	1	4.1.4 部品の取扱い	16
1.1.5 略語および頭字語	1	4.1.5 熱的性能	18
2 関連文書	1	4.1.6 空間的な制約	18
2.1 IPC	1	4.1.7 電気的性能	18
2.2 Joint Standards	2	4.1.8 機械的性能	18
2.3 JEDEC	2	4.2 BGA パッケージでのダイの実装	19
2.4 EIA	3	4.2.1 ワイヤーボンディング	19
3 選定基準と BGA 実装の管理	3	4.2.2 フリップチップ	20
3.1 用語および定義	3	4.2.3 BGA の端子材料の変更	20
3.1.1 オーバーレジスト (SMD) BGA パッド	3	4.2.4 リボーリングをしない BGA のオプション	21
3.1.2 クリアランスレジスト (NSMD) BGA パッド	3	4.3 標準化	22
3.1.3 ノンウェットオープン (NWO)	3	4.3.1 BGA の業界標準	22
3.1.4 ヘッドオンピロー (HoP)	3	4.3.2 BGA パッケージピッチ	24
3.2 概要	3	4.3.3 BGA パッケージの外形	25
3.3 組立用インフラストラクチャに関して	4	4.3.4 ボールサイズの関係性	25
3.3.1 ランドパターンおよびプリント基板に関する 考慮事項	4	4.3.5 パッケージオンパッケージ (PoP) BGA	26
3.3.2 技術比較	5	4.3.6 コプラナリティ	26
3.3.3 組立装置の影響	8	4.4 部品のパッケージングスタイルに関する考慮 事項	27
3.3.4 ステンシルの要件	8	4.4.1 はんだボール合金	27
3.3.5 検査要件	8	4.4.10 フォールドおよびスタックによるパッケージングの 組合せ	38
3.3.6 試験	8	4.4.11 パッケージオンパッケージ (PoP)	38
3.4 市場投入までの準備	9	4.4.12 マルチダイパッケージングの利点	39
3.5 方法論	9	4.4.2 ボール取付け工程	30
3.6 プロセスステップ分析	9	4.4.3 セラミックボールグリッドアレイ (CBGA)	31
3.7 BGA の制限事項と課題	9	4.4.4 セラミックコラムグリッドアレイ (CCGA)	32
3.7.1 目視検査	10	4.4.5 テープベースボールグリッドアレイ (TBGA)	36
3.7.10 信頼性に関する考慮事項	14	4.4.6 マルチダイパッケージング	36
3.7.2 感湿性	10	4.4.7 システムインパッケージ (SiP)	37
3.7.3 BGA と基板のコプラナリティおよび反り	10	4.4.8 三次元 (3D) フォールドパッケージ技術	37
3.7.4 リワーク	10	4.4.9 ボールスタック	38
3.7.5 コスト	11	4.5 BGA コネクタおよびソケット	39
3.7.6 BGA 内のボイド	11	4.5.1 BGA コネクタの材料に関する考慮事項	39
3.7.7 パッドクレタリング	11	4.5.2 BGA コネクタの取付けに関する考慮事項	40
3.7.8 ヘッドオンピロー (HoP) 不良	13	4.5.3 BGA の材料およびソケットタイプ	40
3.7.9 ノンウェットオープン (NWO) 不良	14	4.5.4 BGA ソケットの取付けに関する考慮事項	41
		4.6 BGA の構造のための材料	41
		4.6.1 BGA 基板の材料の種類	41

4.6.2	BGA 基板の材料特性	43	6.2.2	オーバーレジスト (SMD) ランドおよびメタル定義 (MD) ランドの設計	64
4.7	BGA パッケージ設計の考慮事項	44	6.2.3	導体幅	65
4.7.1	電源層およびグラウンド層	44	6.2.4	ビアのサイズと位置	65
4.7.2	信号品位	44	6.2.5	BGA 上のソルダマスクに影響するパラメータ	67
4.7.3	パッケージ内のヒートスプレッドの組込み	45	6.2.6	マルチグリッドの BGA ランドパターンアレイの設計	68
4.8	BGA パッケージの受入れ基準と SHIPPING 形式	45	6.3	エスケープおよび導体のルーティング方策	68
4.8.1	ボールの欠落	45	6.3.1	エスケープ方策	71
4.8.2	はんだボール内のボイド	46	6.3.2	表面導体および間隙の幅	71
4.8.3	はんだボールの取付けの完全性	46	6.3.3	「ランド - ビア (ドッグボーン)」のルーティングパターン	72
4.8.4	パッケージとボールのコプラナリティ	46	6.3.4	機械的ひずみを緩和させるための設計	73
4.8.5	感湿性 (ベーキング、保管、取扱い、再ベーキング)	47	6.3.5	キャップなしビアインパッドとその信頼性への影響	74
4.8.6	出荷用の媒体 (テープ & リール、トレー、チューブ)	48	6.3.6	ファインピッチ BGA (FBGA) のマイクロビアインランド	75
5	プリント基板およびその他の取付け構造	48	6.3.7	電源層およびグラウンド層の接続性	76
5.1	サブストレート (基板)	48	6.4	上面に BGA がある場合のウェーブはんだ付の影響	76
5.1.1	有機基板	48	6.4.1	上面の再溶融	76
5.1.2	無機基板	48	6.4.2	上面の再溶融の影響	76
5.1.3	高密度相互接続 (HDI) のビルドアップ層	49	6.4.3	上面の再溶融を回避する方法	78
5.2	基材に関する考慮事項	50	6.4.4	Pb フリー基板の上面の再溶融	78
5.2.1	樹脂系	50	6.5	試験容易性およびテストポイントへのアクセス	79
5.2.2	積層材料の特性	50	6.5.1	部品の試験	79
5.3	プリント基板の表面仕上げ	51	6.5.2	試験およびバーンインの際のはんだボールの損傷	80
5.3.1	ホットエアソルダレベリング (HASL)	52	6.5.3	プリント基板の試験	81
5.3.2	水溶性プリフラックス (OSP) コーティング	53	6.5.4	プリント基板組立品の試験	82
5.3.3	貴金属めっき / コーティング	53	6.6	製造性考慮設計 (DfM) に関するその他の問題	84
5.4	ソルダマスク	58	6.6.1	パネル / パレットの設計	84
5.4.1	ウェットフィルム状およびドライフィルム状のソルダマスク	58	6.6.2	インプロセス用試験クーポン / 最終製品用試験クーポン	84
5.4.2	ジェット (ノズル噴出) 式ソルダマスク	58	6.7	熱管理	86
5.4.3	ソルダマスクに対する基板とパネルイメージの位置合わせ	58	6.7.1	伝導	86
5.5	ビアプロテクション	59	6.7.2	放射	87
5.5.1	オーバーレジストビア	59	6.7.3	対流	87
5.5.2	ビアのテンテイング、プラギングおよび充填	59	6.7.4	熱伝導材料	87
6	プリント回路組立の設計に関する考慮事項	61	6.7.5	BGA へのヒートシンクの取付け方法	88
6.1	部品の配置およびクリアランス	61	7	BGA 組立	90
6.1.1	自動マウンターによる組立	61	7.1	表面実装組立の工程	90
6.1.2	リペア / リワークに関する要求事項	61	7.1.1	ソルダペーストおよびその塗布	90
6.1.3	配置に関するグローバル要件	62	7.1.2	部品搭載の影響	97
6.1.4	アライメントマーク (シルクスクリーンインク、Cu の特性、ピン 1 識別子)	62	7.1.3	BGA 搭載用のビジョンシステム	97
6.2	取付けサイト (ランドパターンおよびビア)	63	7.1.4	リフローはんだ付およびプロファイリング	99
6.2.1	ランドの直径サイズ、およびルーティングへの影響	63			

7.1.5	フラックスの活性化における材料の影響、部品の損傷およびはんだ付性	107	8 信頼性	152	
7.1.6	洗浄 vs. 無洗浄	107	8.1	BGA 組立品の信頼性要因	152
7.1.7	パッケージのスタンドオフ	108	8.1.1	周期的ひずみ	153
7.2	組立後のプロセス	109	8.1.2	疲労	153
7.2.1	コンフォーマルコーティング	109	8.1.3	クリープ	154
7.2.2	アンダーフィルおよび接着剤の使用	110	8.1.4	クリープおよび疲労の相互作用	155
7.2.3	プリント基板およびモジュールのデパネリング (パネル分割)	117	8.1.5	機械的負荷における信頼性	155
7.3	検査技術	117	8.2	損傷のメカニズムとはんだ接合部の故障	156
7.3.1	X 線検査	117	8.2.1	SnAgCu(SAC) と SnPb の BGA はんだ接合部に ける、熱疲労クラックの成長メカニズムの比較	157
7.3.2	X 線画像の取得	118	8.2.2	混合合金によるはんだ付	158
7.3.3	X 線システムの定義および考察用語	119	8.3	はんだ接合部および取付けのタイプ	159
7.3.4	X 線画像解析	123	8.3.1	全体的な膨張の不整合	160
7.3.5	走査型超音波顕微鏡 (SAM)	125	8.3.2	局所的な膨張の不整合	160
7.3.6	BGA のスタンドオフの測定	126	8.3.3	内部的な膨張の不整合	160
7.3.7	光学検査 (内視鏡検査)	127	8.4	はんだ接合部の故障	160
7.3.8	破壊解析の方法	128	8.4.1	はんだ接合部の故障の分類	160
7.4	試験および製品の検証	131	8.5	信頼性に影響を与える重大要因	165
7.4.1	電気試験	131	8.5.1	パッケージ技術	165
7.4.2	機能試験 (FT) の範囲	131	8.5.2	スタンドオフ高さ	166
7.4.3	バーンイン試験	132	8.5.3	プリント基板設計の考慮事項	167
7.4.4	製品スクリーニング試験	132	8.5.4	セラミックグリッドアレイ (CGA) のはんだ接合部の 信頼性	167
7.5	ボイドの識別	132	8.5.5	BGA の Pb フリーはんだ付	168
7.5.1	ボイドの発生源	132	8.6	信頼性設計 (DfR) のプロセス	174
7.5.2	ボイドの分類	133	8.7	検証および認定試験	175
7.5.3	BGA のはんだ接合部内のボイド	134	8.8	スクリーニングの手順	175
7.6	ボイドの測定	135	8.8.1	はんだ接合部の不良	175
7.6.1	X 線による検出および測定の際の注意事項	135	8.8.2	スクリーニングに関する推奨実行	175
7.6.2	ボイドの影響	135	8.9	加速信頼性試験	175
7.6.3	ボイドプロトコルの開発	136	9 プロセスに関するトラブルシューティング	176	
7.6.4	ボイド評価のためのサンプリングプラン	137	9.1	オーバーレジスト (SMD) BGA の接合状態	176
7.7	ボイド削減のための工程管理	138	9.1.1	オーバーレジスト (SMD) ランドおよびクリア ランスレジスト (NSMD) ランド	176
7.7.1	ボイド形成におけるプロセスパラメータの影響	138	9.1.2	製品基板上のオーバーレジスト (SMD) ランド	177
7.7.2	はんだボール内のボイドに関する工程管理基準	142	9.1.3	オーバーレジスト (SMD) BGA の故障	177
7.7.3	工程管理基準	143	9.2	BGA はんだボールが過度に潰れる状態	178
7.8	はんだ不良	143	9.2.1	ヒートスラグなしの BGA ボールの形状、スタンドオ フ高さ 500 μ m	178
7.8.1	はんだブリッジ	143	9.2.2	ヒートスラグありの BGA ボールの形状、スタンドオ フ高さ 375 μ m	178
7.8.2	コールドはんだ	143	9.2.3	ヒートスラグありの BGA ボールの形状、スタンドオ フ高さ 300 μ m	179
7.8.3	オープンはんだ	144	9.2.4	ソルダペーストの重要な条件	179
7.8.4	加熱不良 (不十分 / 不均一)	144	9.2.5	X 線および断面観察によるボイドの判定	179
7.8.5	ヘッドオンピロー (HoP)	144	9.2.6	ボイドと不均一なはんだボール	179
7.8.6	ノンウェットオープン (NWO) / ハンギングボール	147	9.2.7	エッグシェルボイド	180
7.8.7	部品不良	147			
7.9	リペアプロセス	148			
7.9.1	リワークおよびリペアの原理	148			
7.9.2	BGA の取外し	148			
7.9.3	修復	149			

9.3	BGA の反り	180	図 4-4	BGA 基板上的フリップチップ (ダイはバンパに収まっている)	20
9.3.1	BGA の反り	180	図 4-5	SnPb を使用した BGA はんだ接合	22
9.3.2	インターポーザの反りによるはんだ接合部のオープン	181	図 4-6	パッケージオンパッケージ部品の JEDEC 標準フォーマット	26
9.4	はんだ接合部の状態	181	図 4-7	フリップチップ BGA パッケージの、温度による動的反りのプロット	28
9.4.1	はんだの目標のコンディション	181	図 4-8	液相線温度が 100 C から 200 C の低融点合金 (Pb、Cd または Au を含有しない合金)	29
9.4.10	はんだブリッジ	185	図 4-9	SnBi の位相図	29
9.4.11	不完全なはんだリフロー	186	図 4-10	SnBi はんだ合金の典型的な微細構造	30
9.4.12	はんだの欠落	186	図 4-11	プラスチックボールグリッドアレイ (PBGA) パッケージ	30
9.4.13	ノンウェットオープン (NWO)	187	図 4-12	熱強化セラミックボールグリッドアレイ (CBGA) パッケージの断面	31
9.4.14	ヘッドオンピロー (HoP) のはんだ接合部	187	図 4-13	成形ポリマーで封止されたセラミックボールグリッドアレイ (CBGA) パッケージ	31
9.4.2	過剰な酸化を伴ったはんだボール	182	図 4-14	Cu リボンラップされた典型的なセラミックコラムグリッドアレイ (CCGA)	32
9.4.3	ディウェッティング (はんだはじき)	182	図 4-15	プラスチック BGA (PBGA) とさまざまな形状のコラム	33
9.4.4	ノンウェッティング (不ぬれ)	182	図 4-16	Cu リボンでラップされた典型的なはんだコラム	33
9.4.5	ランドの汚染が原因による不完全な接合部	183	図 4-17	外層が SnPb40 で覆われている、電気銅めっきされた PbSn10 はんだコラムの断面図	33
9.4.6	変形したはんだボール	183	図 4-18	SnPb めっきされたマイクロコイル (左) と Au めっきされたマイクロコイル (右)	34
9.4.7	変形したはんだボール - 動的な反り	184	図 4-19	コラムグリッドアレイ (CGA1152) セラミック IC パッケージ上の、Au めっきされたマイクロコイルスプリング	34
9.4.8	はんだおよびフラックス不足による接合部形成不足	184	図 4-20	コラムグリッドアレイ (CGA) パッケージ上の、SAC305 でフィレット形成されたマイクロコイル	34
9.4.9	端子のコンタクト面積の縮小	185	図 4-21	SnPb37 でフィレット形成されたマイクロコイルスプリング (電気めっきされた SnPb40) コラムグリッドアレイ (CGA1152)	34
附属書 A ボイド発生を低減するための工程管理の特性化			188	図 4-22	ポリミッドフィルムベースの、リードボンディングされた μ BGA パッケージ基板
附属書 B 用語集: 頭字語および略語			194	図 4-23	シングルメタルテープ基板とダブルメタルテープ基板のパッケージ内回路のルーティングの比較
図					
図 3-1	BGA パッケージの製造プロセス	4	図 4-24	シングルパッケージのダイスタック BGA	37
図 3-2	マルチチップモジュール (MCM) タイプ 2S-L-WB	5	図 4-25	カスタムによる 8 つのダイ (フリップチップとワイヤーボンディング) の SiP 組立	37
図 3-3	導体の幅とピッチの関係	7	図 4-26	フォールデッドマルチダイ BGA パッケージ	38
図 3-4	ワイヤーボンディングしたボールグリッドアレイ (BGA)	7	図 4-27	8 層のボールスタックパッケージ	38
図 3-5	フリップチップボンディングをしたボールグリッドアレイ (BGA)	8	図 4-28	片面実装のスモールアウトラインデュアルインラインメモリモジュール (SO-DIMM) のメモリカード組立	38
図 3-6	BGA の反り	10	図 4-29	フォールドおよびスタッキングによるマルチパッケージダイ BGA	38
図 3-7	パッドクレタリングの例	12			
図 3-8	BGA のはんだ接合部に発生し得るさまざまな故障モード	12			
図 3-9	ヘッドオンピロー (HoP) のはんだ接合部の不良: コーナー部の状態 (左) および断面での状態 (右)	13			
図 3-10	ヘッドオンピロー (HoP) のオープン不良: 断面での状態	13			
図 3-11	側面および断面でのノンウェットオープン (NWO) 不良の例	14			
図 4-1	エリアアレイパッケージの端子のタイプ	17			
図 4-2	ボードオンチップ (BOC)BGA の構造	19			
図 4-3	モールドされたボードオンチップ (BOC)BGA の上部	20			

図 4-30	パッケージオンパッケージの (PoP) の組立	39	図 6-11	均一グリッドの BGA ランドパターン	68
図 4-31	BGA コネクタ	39	図 6-12	四分儀の BGA パターン	69
図 4-32	BGA コネクタとバキュームカップ	40	図 6-13	正方形のアレイ	69
図 4-33	ピングリッドアレイ (PGA) のソケットピン	40	図 6-14	長方形のアレイ	70
図 4-34	マウンターカバー付きまたはカバー無しの ピングリッドアレイ (PGA) ソケット	41	図 6-15	非実装のアレイ	70
図 4-35	ランドグリッドアレイ (LGA) のコンタクトピン	41	図 6-16	ボールの欠落した正方形のアレイ	70
図 4-36	マウンターカバー付きまたはカバー無しの ランドグリッドアレイ (LGA) ソケット	41	図 6-17	散在したアレイ	70
図 4-37	BGA のボールの欠落の例	45	図 6-18	導体ルーティングの方策	71
図 4-38	受入れ検査時の共晶はんだボール内のボイド の例 A - ボイド	46	図 6-19	異なるアレイピッチでの導体および間隙の幅	72
図 4-39	はんだボールとランドの表面状態の例	46	図 6-20	1トラックまたは2トラックの導体ルーティング	72
図 4-40	BGA のコプラナリティ要件の確立	47	図 6-21	典型的な「ランド - ビア (ドッグボーン)」の レイアウト	73
図 4-41	ボールコンタクトの位置公差	47	図 6-22	「ランド - ビア (ドッグボーン)」のルーティングオ プション	73
図 5-1	レーザーによるビア生成を使用した HDI の ビルドアップの可能性	49	図 6-23	導体ルーティングでの BGA の「ランド - ビア (ドッグボーン)」へのランドパターン優先方向	73
図 5-10	無電解 Ni/ 無電解 Pd/ 置換 Au (ENEPIG) 構造の図	56	図 6-24	ネジおよびサポートの推奨される配置	74
図 5-11	直接置換 Au (DIG) のグラフィック図	56	図 6-25	コーナー部のネジおよびサポートの配置	74
図 5-12	マイクロボイドの例	57	図 6-26	ビアインパッド構造での 0.75mm のボールの 断面	74
図 5-13	ビアのブラッキングの工法	60	図 6-27	ビアキャップとはんだボールを示したビアインパッド 設計の断面図	74
図 5-2	エッチングと機械的工程を使用した HDI の ビルドアップの可能性	49	図 6-28	ビアインパッドの発生プロセスについて (上部に BGA)	75
図 5-3	Tg 以上での膨張率	50	図 6-29	マイクロビアの例 (断面図)	76
図 5-4	ホットエアソルダレベリング (HASL) の表面トポロ ジー比較	53	図 6-30	マイクロビア内のボイド	76
図 5-5	無電解 Ni/ 置換 Au (ENIG) 構造の図	54	図 6-31	ランド層または電源層の BGA 接続	76
図 5-6	Ni と Ni-Sn 金属間層の間にクラックを示す、 ブラックパッド破壊	54	図 6-32	上面を再溶融した接合部のボールの変形とディ ウエットの例	77
図 5-7	ブラックパッドの表面の典型的なマッド (泥状) クラックの外観	55	図 6-33	基板上面に混合部品を搭載する基板組立のため のウェーブはんだ付の温度プロファイル	77
図 5-8	置換 Au の表面下の P リッチ層から Ni リッチ層へ と突き出た腐食突起物のあるブラックパッドの 大きな領域	55	図 6-34	ウェーブはんだ付の際の BGA はんだ接合部へ の熱経路	78
図 5-9	Au の脆化	55	図 6-35	ウェーブはんだ付の際の基板上面の BGA はんだ 接合部の再溶融を回避する方法	79
図 6-1	BGA のアライメントマーク	62	図 6-36	ピンセットタイプのコンタクトによる、側面のコンタクト の例	80
図 6-2	BGA 部品のはんだランド	64	図 6-37	はんだボールの底面上にある、ポゴピンタイプの 電氣的コンタクトの跡	80
図 6-3	メタル定義ランドの取付けプロファイル	65	図 6-38	エリアアレイランドパターンの試験	81
図 6-4	ソルダマスクの応力集中	65	図 6-39	基板のパネライゼーション	85
図 6-5	はんだ接合の形状 (ジオメトリ) コントラスト	65	図 6-40	くし形パターンの例	86
図 6-6	ソルダマスク設計の良い例、悪い例	66	図 6-41	接着剤を使用して BGA に取り付けられたヒート シンク	88
図 6-7	メタル定義のランドの例	66	図 6-42	クリップを使用して BGA に取り付けられたヒート シンク	89
図 6-8	ソルダマスクの位置合わせの悪い例	67	図 6-43	クリップ (プリント基板のホールにフックされるもの) を使用して BGA に取り付けられたヒートシンク	89
図 6-9	ソルダマスクの位置合わせの良い例	67			
図 6-10	ボールズエニウェア BGA 部品のための、 ボールズエニウェアランドパターンの設計	68			

図 6-44	クリップ (プリント基板にはんだ付されたステークにフックさせる) を使用して BGA に取り付けられたヒートシンク。 ……	89	図 7-23	BGA およびその他のパッケージの、アンダーフィル接着剤の使用法に関するマップ ……	111
図 6-45	ピンをスルーホールにウェーブはんだ付することにより BGA に取り付けられたヒートシンク。 ……	90	図 7-24	アンダーフィルの被覆範囲が不完全な BGA パッケージ ……	112
図 7-1	アスペクト比、面積比を計算するためのステンシルアパーチャの指示位置 (はんだステンシル形体の寸法) ……	92	図 7-25	2つの平行な表面間におけるアンダーフィルのフロー ……	113
図 7-2	ペースト浸漬後の BGA ボール ……	94	図 7-26	アンダーフィル内の気泡の例 ……	113
図 7-3	キャビティ基板と 3D ステンシル ……	95	図 7-27	部分的なアンダーフィルの例 ……	114
図 7-4	2つのキャビティポケットが付いた 3D ステンシル ……	95	図 7-28	コーナーボンドを塗布した BGA の断面観察写真 ……	115
図 7-5	スリットメタルスキー ……	95	図 7-29	コーナーボンドを塗布した BGA の上面写真 ……	115
図 7-6	キャビティにおける適用禁止領域 ……	95	図 7-30	リフロー前のコーナーボンドの塗布に関する限界寸法 ……	115
図 7-7	高有鉛および共晶のはんだボールと接合部の比較 ……	96	図 7-31	コーナーボンドの典型的な故障モード ……	115
図 7-8	オフラインティーチングのための、ボールズエニウェアのイメージキャプチャ ……	98	図 7-32	BGA はんだ接合部のポリマー補強に関する 4 つの戦略の例 ……	116
図 7-9	BGA または BGA 近辺のさまざまな位置におけるピークリフロー温度の例 ……	99	図 7-33	はんだ接合部の封止材料 (SJEM) ……	116
図 7-10	SnPb 組立品のリフロープロファイル概観 ……	101	図 7-34	X 線技術の基本原則 ……	118
図 7-11	Pb フリー組立品のリフロープロファイル概観 ……	101	図 7-35	ヘッドオンピロー (HoP) はんだ接合部の X 線の例 ……	118
図 7-12	大小の部品を伴うプリント基板組立品上の熱電対の位置 ……	102	図 7-36	はんだボールのコンタクトで発生したボイドの X 線の例 ……	118
図 7-13	BGA 上における推奨される熱電対の位置 ……	102	図 7-37	手動 X 線システムの画質に関する 2 つの例 ……	119
図 7-14	BGA コネクタにおける熱電対の適切な位置 ……	102	図 7-38	X 線のピンクッションひずみと電圧ブルーミングの例 ……	119
図 7-15	SAC BGA 部品の組立プロセスの比較: SAC ソルダペースト (上部)、BiSn ベースラインまたは延性冶金のソルダペースト (中段)、樹脂含有の接合強化型ペースト: JRP (底部) を使用。 ……	103	図 7-39	透過画像 (2D) ……	120
図 7-16	SAC、BiSnAg および低融点 JRP ソルダペーストに関するリフロー温度プロファイルの比較 ……	104	図 7-40	トモシンセシス画像 (3D) ……	120
図 7-17	延性冶金の BiSn ソルダペーストではんだ付された SAC ボールで形成された、混合合金による BGA はんだ接合部 ……	105	図 7-41	ラミノグラフィー 3D 自動 X 線検査 (AXI) セクションの画像 ……	120
図 7-18	BiSn 接合強化型ペースト (JRP) ではんだ付された SAC ボールで形成された、混合合金による BGA はんだ接合部 ……	105	図 7-42	高品質の 2D 透過型 X 線画像の例 ……	121
図 7-19	混合合金 SAC-BiSn BGA はんだ接合部を伴う、Bi- 混合領域の面積に対するペースト量の影響 ……	106	図 7-43	斜め視野によるプリント基板の傾斜 ……	121
図 7-20	パドルコンタクト BGA ソケットの、はんだボールとソルダペーストの 3 つの組合せによるはんだ接合部の形状および微細構造 ……	106	図 7-44	斜め視野による検出器の傾斜 ……	121
図 7-21	プリント基板の BGA ランド周囲における、ソルダマスキレリーフの影響 ……	109	図 7-45	FBGA はんだ接合部の上面図 ……	122
図 7-22	コンフォーマルコーティングの不適切な使用による影響 ……	110	図 7-46	FBGA はんだ接合部の斜め視野からの図 ……	122
			図 7-47	大型基板のコンピュータ断層撮影 (CT) / 部分的な CT の原理 ……	122
			図 7-48	大型基板のコンピュータ断層撮影 (CT) スキャン (左)、およびヘッドオンピロー (HoP) を示す 3D レンダリング (右) ……	123
			図 7-49	大型基板のコンピュータ断層撮影 (CT) ……	123
			図 7-50	トモシンセシス ……	123
			図 7-51	走査ビーム X 線ラミノグラフィー ……	124
			図 7-52	加熱ステージを用いて観察された QFN デバイス内のボイド生成ダイナミクス ……	125
			図 7-53	典型的な走査型超音波顕微鏡の構成 ……	126
			図 7-54	同じ BGA の C スキャン画像 (左) および T スキャン画像 (右) ……	126
			図 7-55	エンドスコープの例 1 ……	127

図 7-56 エンドスコープの例 2	127	図 8-3 セラミックボールグリッドアレイ (CBGA) モジュールにおける共晶 SnPb はんだ接合部の熱疲労クラックの伝播	158
図 7-57 エンドスコープの例 3	127	図 8-4 セラミックボールグリッドアレイ (CBGA) モジュールにおける SnAg3.8Cu0.7 はんだ接合部の熱疲労クラックの伝播	158
図 7-58 エンジニアリングクラック評価技術	128	図 8-5 典型的なプロセスウィンドウのローエンドで組立てられた、1%Ag ボール合金の不完全なはんだ接合部の形成	159
図 7-59 はんだボール内のボイドを通過して切断された断面	129	図 8-6 シリコンとプリント基板の熱膨張係数 (CTE) の不整合による、はんだ接合部の故障	160
図 7-60 ボール/パッドのインターフェース付近のクラック発生の断面	129	図 8-7 粗い粒子の外観を示すコールドはんだ接合	161
図 7-61 染色および引上げ試験: この写真では、BGA パッドまたはプリント基板表面に染色を示していない。	130	図 8-8 ランドの汚染 (ソルダマスクの残さ)	161
図 7-62 染色および引上げ試験: この写真では、プリント基板と BGA パッドの両方に染色を示す。	130	図 8-9 はんだボールの落下	161
図 7-63 染色および引上げ試験: この写真では、BGA 側とプリント基板側において、積層材の破壊 (パッドクレタリング) に染色を示す。	131	図 8-10 はんだボールの欠落	162
図 7-64 ボールとランドの界面に凝集された小さなボイド	133	図 8-11 フリップチップ BGA とプリント基板の動的な反り	162
図 7-65 BGA はんだ接合部におけるさまざまなタイプのボイドの典型的なサイズと発生位置	134	図 8-12 リフロー後の著しく反った BGA とプリント基板が原因による、はんだ接合部の不良	163
図 7-66 ボイドを伴うはんだボールの X 線画像	135	図 8-13 許容可能な凸状のはんだ接合部の例	163
図 7-67 BGA はんだ接合部の標準的なリフローはんだ付 (上) と真空アシストによるリフローはんだ付 (下) の比較	140	図 8-14 許容可能な円柱状のはんだ接合部の例	164
図 7-68 真空アシストによる対流式リフローオープン	141	図 8-15 パッドクレタリングの 2 つの例 (BGA のコーナー部に位置)	164
図 7-69 真空アシストによる気相リフローオープン	141	図 8-16 1mm ピッチの Pb フリーはんだボールの下にあるパッドクレター	164
図 7-70 真空アシストによるはんだ付プロセスと高圧はんだ付プロセスの違いを示す、時間 vs. 圧力のプロット図	142	図 8-17 リフローの際に不十分に溶融されたはんだ接合部の断面観察写真	165
図 7-71 ランドとプリント基板の界面におけるボイド面積の例	142	図 8-18 ソルダマスクの影響	167
図 7-72 不均一な加熱を示す X 線画像	144	図 8-19 非常に大きなボイドが起因する、信頼性試験での不合格	167
図 7-73 BGA の 1 つのコーナー部で不十分な加熱を示す、角度 45° の画像	144	図 8-20 SnAgCu (SAC) BGA はんだボールのエンドスコープ写真	170
図 7-74 結合していないボールとソルダペーストを示す、ヘッドオンピロー (HoP) の例	145	図 8-21 SnPb、下位互換性、Pb フリーのプリント基板組立の、リフローはんだ付けプロファイルの比較	171
図 7-75 ヘッドオンピロー (HoP) の発生プロセスのシーケンス	145	図 8-22 BGA SAC はんだボールの断面観察の顕微鏡写真: 標準の SnPb リフローはんだ付プロファイルを用いながら SnPb ソルダペーストでプリント基板上に組み立てたもの。	171
図 7-76 パッケージの反りが大きいことによるヘッドオンピロー (HoP)	146	図 8-23 BGA SAC はんだボールの断面観察の顕微鏡写真: 下位互換性のリフローはんだ付プロファイルを用いながら、SnPb ソルダペーストでプリント基板上に組み立てたもの。	172
図 7-77 液相線遅延時間 (LTD) の例	146	図 8-24 混合冶金 (SAC/SnPb) の BGA はんだ接合部の代替案	173
図 7-78 リフロー後の結合を示さないプリント基板上のはんだ粒子	146	図 9-1 オーバーレジスト (SMD) ランドによって引き起こされるクラック	176
図 7-79 ハンギングボール不良の例	147	図 9-2 ランド上に深く侵入したソルダマスク	177
図 7-80 ポップコーン現象の X 線画像	147	図 9-3 オーバーレジスト (SMD) BGA のはんだ接合部の故障	177
図 7-81 BGA 内の反りを示す X 線画像	148		
図 7-82 BGA/組立品のシールドの例	149		
図 8-1 熱機械的疲労によるはんだ接合部のクラックの例	157		
図 8-2 疲労クラックを伴う粗大化 (A) および粗大化 (B) を示す、熱サイクル後の BGA	157		

図 9-4	ヒートスラグなしの BGA ボールの形状、スタンドオフ高さ 500 μ m	178	表 4-10	IPC-4101 FR-4 の属性一覧 -Pb フリー組立に耐えるように考案された、材料仕様書式の概要	42
図 9-5	ヒートスラグありの BGA ボールの形状、スタンドオフ高さ 375 μ m	178	表 4-11	BGA パッケージサブ基板に関する一般的な誘電材料の典型的な特性	44
図 9-6	ヒートスラグありの BGA ボールの形状、スタンドオフ高さ 300 μ m	179	表 4-12	ボールサイズ毎の制御されたコプラナリティ	47
図 9-7	不均一なはんだボールとボールの欠落	179	表 4-13	感湿性の分類レベルおよびフロアライフ	48
図 9-8	エッグシェルボイド	180	表 5-1	プリント基板のさまざまな表面仕上げに関する主な属性	52
図 9-9	コーナー部にブリッジのある凸状 (Frowning) の BGA	180	表 5-2	表面仕上げの工法に基づく、ビアの充填 / オーバーレジストの評価	59
図 9-10	インターポーザの反りによるはんだ接合部のオープン	181	表 5-3	ビア充填のオプション	61
図 9-11	はんだの目標のコンディション	181	表 6-1	はんだランド間の導体の数 - 1.27mm ピッチの BGA (ボール直径は 0.75mm)	63
図 9-12	過剰な酸化を伴ったはんだボール	182	表 6-2	はんだランド間の導体の数 - 1mm ピッチの BGA (ボール直径は 0.60mm)	63
図 9-13	界面におけるはんだのディウェッティング	182	表 6-3	はんだランド間の導体の数 - 0.80mm ピッチの BGA (ボール直径は 0.50mm)	63
図 9-14	ノンウェッティング	182	表 6-4	はんだランド間の導体の数 - 0.65mm ピッチの BGA (ボール直径は 0.40mm)	64
図 9-15	ランドの汚染が原因による不完全な接合部	183	表 6-5	はんだランド間の導体の数 - 0.50mm ピッチの BGA (ボール直径は 0.30mm)	64
図 9-16	はんだボールの変形	183	表 6-6	はんだランドの最大とピッチの関係 (mm)	64
図 9-17	円柱状に変形したボール	184	表 6-7	フルアレイのエスケープ方策	71
図 9-18	サスペンデッドはんだボール	184	表 6-8	異なるアレイピッチでの導体および間隙の幅	72
図 9-19	同じ BGA 上の細長く伸びた接続と正常な接続	185	表 6-9	熱伝導における材料タイプの影響	86
図 9-20	はんだブリッジ	185	表 6-10	特定材料の放射率	87
図 9-21	不完全なはんだリフロー	186	表 7-1	タイプおよびメッシュによるはんだボールサイズの分布	91
図 9-22	ソルダペーストの転写がされていない。	186	表 7-2	ソルダペーストの良好なリリースを実現するための、異なるピッチのはんだ粉末タイプの推奨事項 (S/P 比 > 4.2)	91
図 9-23	ノンウェットオープン (NWO)	187	表 7-3	BGA のピッチ毎のステンシルの厚さ	92
図 9-24	ヘッドオンピロー (HoP)	187	表 7-4	一般的なステンシル技術およびオプションの長所と短所	93
図 A-1	ボイドを評価するための典型的なフロー図	188	表 7-5	ファインピッチ BGA (FBGA) の印刷オプション	94
図 A-2	コーナー部のリードでクラックが開始された BGA のボイド	192	表 7-6	セラミックアレイパッケージのソルダペースト量の要件の例	97
図 A-3	ランドサイズに関連するボイドの直径	193	表 7-7	SnPb および SAC 合金間のプロファイル比較	100
表			表 7-8	各検査手法の適用性に関する推奨事項	117
表 3-1	マルチチップモジュール (MCM) の定義	5	表 7-9	検査視野	124
表 3-2	2つの回路層上の、導体数とアレイサイズ	6	表 7-10	ボイドの分類	134
表 3-3	パッドクレータリングに関連する IPC 規格	13	表 7-11	推奨されるボイドプロトコルの例	136
表 4-1	JEDEC 標準 JEP95-1/5 FBGA のボール径バリエーションの許容値	23	表 7-12	ボールからボイドまでのサイズ画像 - さまざまなボール直径における比較	137
表 4-2	プラスチック BGA (PBGA) のボール径のサイズ	24	表 7-13	SnPb 組立品に関するリペアプロセスの温度プロファイル	152
表 4-3	ダイサイズ BGA (DSBGA) のボール径のサイズ	24	表 7-14	Pb フリー組立品に関するリペアプロセスの温度プロファイル	152
表 4-4	ランドパターン設計	25			
表 4-5	BGA パッケージの「ランドからボール」の計算 (mm)	26			
表 4-6	JEDEC に登録されている BGA の外形の例	27			
表 4-7	Pb フリー合金のバリエーション	28			
表 4-8	コラムグリッドアレイ (CGA) のランドサイズの概算	35			
表 4-9	コラムグリッドアレイ (CGA) の合金および構成スタイル	35			

表 8-1	BGA の典型的なスタンドオフ高さ	166
表 8-2	一般的なはんだ合金の融点、長所、短所	168
表 8-3	Pb フリー組立のタイプ	170
表 A-1	ランドの是正処置の指標 (1mm、1.27mm および 1.5mm ピッチの場合)	190
表 A-2	ランドの是正処置の指標 (0.5mm、0.65mm または 0.8mm ピッチの場合)	191
表 A-3	マイクロビアインパッドのランドの是正処置の 指標 (0.3mm、0.4mm または 0.5mm ピッチ の場合)	192