

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
		4.1.6 空間的な制約	18
2 関連文書	1	4.1.7 電気的性能	18
2.1 IPC	1	4.1.8 機械的性能	18
2.2 Joint Standards	2	4.2 BGA パッケージでのダイの実装	19
2.3 JEDEC	2	4.2.1 ワイヤーボンディング	19
2.4 EIA	3	4.2.2 フリップチップ	20
		4.2.3 BGA の端子材料の変更	20
3 選定基準と BGA 実装の管理	3	4.2.4 リボーリングをしない BGA のオプション	21
3.1 用語および定義	3	4.3 標準化	22
3.1.1 オーバーレジスト (SMD) BGA パッド	3	4.3.1 BGA の業界標準	22
3.1.2 クリアランスレジスト (NSMD) BGA パッド	3	4.3.2 BGA パッケージピッチ	24
3.1.3 ノンウェットオープン (NWO)	3	4.3.3 BGA パッケージの外形	25
3.1.4 ヘッドオンピロー (HoP)	3	4.3.4 ボールサイズの関係性	25
3.2 概要	3	4.3.5 パッケージオンパッケージ (PoP)BGA	26
3.3 組立用インフラストラクチャに関する	4	4.3.6 コプラナリティ	26
3.3.1 ランドパターンおよびプリント基板に関する		4.4 部品のパッケージングスタイルに関する考慮	
考課事項	4	事項	27
3.3.2 技術比較	5	4.4.1 はんだボール合金	27
3.3.3 組立装置の影響	8	4.4.10 フォールドおよびスタッカによるパッケージングの組合せ	38
3.3.4 ステンシルの要件	8	4.4.11 パッケージオンパッケージ (PoP)	38
3.3.5 検査要件	8	4.4.12 マルチダイパッケージングの利点	39
3.3.6 試験	8	4.4.2 ボール取付け工程	30
3.4 市場投入までの準備	9	4.4.3 セラミックボールグリッドアレイ (CBGA)	31
3.5 方法論	9	4.4.4 セラミックコラムグリッドアレイ (CCGA)	32
3.6 プロセスステップ分析	9	4.4.5 テープベースボールグリッドアレイ (TBGA)	36
3.7 BGA の制限事項と課題	9	4.4.6 マルチダイパッケージング	36
3.7.1 目視検査	10	4.4.7 システムインパッケージ (SiP)	37
3.7.10 信頼性に関する考課事項	14	4.4.8 三次元 (3D) フォールデッドパッケージ技術	37
3.7.2 感湿性	10	4.4.9 ボールスタッカ	38
3.7.3 BGA と基板のコプラナリティおよび反り	10	4.5 BGA コネクタおよびソケット	39
3.7.4 リワーカ	10	4.5.1 BGA コネクタの材料に関する考課事項	39
3.7.5 コスト	11	4.5.2 BGA コネクタの取付けに関する考課事項	40
3.7.6 BGA 内のボイド	11	4.5.3 BGA の材料およびソケットタイプ	40
3.7.7 パッドクレータリング	11	4.5.4 BGA ソケットの取付けに関する考課事項	41
3.7.8 ヘッドオンピロー (HoP) 不良	13	4.6 BGA の構造のための材料	41
3.7.9 ノンウェットオープン (NWO) 不良	14	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プレッダの組込み	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シッピング形式	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	ホットエアソルダーレベリング (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	貴金属めつき / 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	ビアのテンディング、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 (シリ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	ブ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はんだ接合部における、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け	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			
7.6.4	ボイド評価のためのサンプリングプラン	137	9 プロセスに関するトラブルシューティング	176
7.7	ボイド削減のための工程管理	138	9.1	オーバーレジスト(SMD)BGAの接合状態	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	9.1.1	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
7.7.2	はんだボール内のボイドに関する工程管理基準	142	9.1.2	製品基板上のオーバーレジスト(SMD)ランド	177
7.7.3	工程管理基準	143	9.1.3	オーバーレジスト(SMD)BGAの故障	177
7.8	はんだ不良	143	9.2	BGAはんだボールが過度に潰れる状態	178
7.8.1	はんだブリッジ	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 μm	178
7.8.2	コールドはんだ	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 μm	178
7.8.3	オープンはんだ	144	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 μm	179
7.8.4	加熱不良(不十分/不均一)	144	9.2.4	ソルダペーストの重要な条件	179
7.8.5	ヘッドオンピロー(HoP)	144	9.2.5	X線および断面観察によるボイドの判定	179
7.8.6	ノンウェットオープン(NWO)/ハンギングボール	147	9.2.6	ボイドと不均一なはんだボール	179
7.8.7	部品不良	147	9.2.7	エッグシェルボイド	180
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 基板上のフリップチップ (ダイはバンプに収まっている)	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	インターポーラの反りによるはんだ接合部のオーブン.....	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 (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 ポイド発生を低減するための工程管理の特徴化 188

附属書 B 用語集: 頭字語および略語 194

図

図 3-1	BGA パッケージの製造プロセス	4
図 3-2	マルチチップモジュール (MCM) タイプ 2S-L-WB	5
図 3-3	導体の幅とピッチの関係	7
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 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 3-6	BGA の反り	10
図 3-7	パッドクレータリングの例	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: ユーナー部の状態 (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 (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 4-4	BGA 基板上のフリップチップ (ダイはバンプに収まっている)	20
図 4-5	SnPb を使用した BGA はんだ接合	22
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
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
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
図 4-9	SnBi の位相図	29
図 4-10	SnBi はんだ合金の典型的な微細構造	30
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
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
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
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
図 4-15	プラスチック BGA (PBGA) とさまざまな形状のコラム	33
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
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
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
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
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
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
図 4-22	ポリイミドフィルムベースの、リードボンディングされた μBGA パッケージ基板	36
図 4-23	シングルメタルテーブル基板とダブルメタルテーブル基板のパッケージ内回路のルーティングの比較	36
図 4-24	シングルパッケージのダイスタックリ BGA	37
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 4-26	フォールデッドマルチダイ BGA パッケージ	38
図 4-27	8 層のボールスタックリパッケージ	38
図 4-28	片面実装のスマート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 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 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 6-17 散在したアレイ	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 6-18 導体ルーティングの方策	71
図 4-37 BGA のボールの欠落の例	45	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 4-38 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 6-20 1 トラックまたは 2 トラックの導体ルーティング	72
図 4-39 はんだボールとランドの表面状態の例	46	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 4-40 BGA のコプラナリティ要件の確立	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 4-41 ボールコンタクトの位置公差	47	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 5-1 レーザーによるビア生成を使用した HDI の ビルアップの可能性	49	図 6-24 ネジおよびサポートの推奨される配置	74
図 5-10 無電解 Ni/ 無電解 Pd/ 置換 Au (ENEPIG) 構造の図	56	図 6-25 コーナー部のネジおよびサポートの配置	74
図 5-11 直接置換 Au(DIG) のグラフィック図	56	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 5-12 マイクロボイドの例	57	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 5-13 ビアのプラギングの工法	60	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 5-2 エッキングと機械的工程を使用した HDI の ビルアップの可能性	49	図 6-29 マイクロビアの例 (断面図)	76
図 5-3 Tg 以上での膨張率	50	図 6-30 マイクロビア内のボイド	76
図 5-4 ホットエアソルダーレベリング (HASL) の表面トポロ ジー比較	53	図 6-31 グランド層または電源層の BGA 接続	76
図 5-5 無電解 Ni/ 置換 Au (ENIG) 構造の図	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 ウェッティングの例	77
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 6-33 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 5-7 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 6-34 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 5-8 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 6-35 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 5-9 Au の脆化	55	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 6-1 BGA のアライメントマーク	62	図 6-37 はんだボールの底面上にある、ボゴピンタイプの 電気的コンタクトの跡	80
図 6-2 BGA 部品のはんだランド	64	図 6-38 エリアアレイランドパターンの試験	81
図 6-3 メタル定義ランドの取付けプロファイル	65	図 6-39 基板のペネライゼーション	85
図 6-4 ソルダマスクの応力集中	65	図 6-40 くし形パターンの例	86
図 6-5 はんだ接合の形状 (ジオメトリ) コントラスト	65	図 6-41 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 6-6 ソルダマスク設計の良い例、悪い例	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 6-7 メタル定義のランドの例	66	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 6-8 ソルダマスクの位置合わせの悪い例	67		
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ジ 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 線技術の基本原理 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 小さな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 線のピンクッシュ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 延性治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 延性治金の 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、 ソルダマスクレリーフの影響 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イ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 (パッドクレーティング)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 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 パッドクレーティングの 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ーター	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 热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、热サイクル後の 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 μm	178
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 μm	178
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 μm	179
図 9-7	不均一なはんだボールとボールの欠落	179
図 9-8	エッグシェルボイド	180
図 9-9	コーナー部にブリッジのある凸状 (Frowning) の BGA	180
図 9-10	インターポーヴィアの反りによるはんだ接合部の オーブン	181
図 9-11	はんだの目標のコンディション	181
図 9-12	過剰な酸化を伴ったはんだボール	182
図 9-13	界面におけるはんだのディウェッティング	182
図 9-14	ノンウェッティング	182
図 9-15	ランドの汚染が原因による不完全な接合部	183
図 9-16	はんだボールの変形	183
図 9-17	円柱状に変形したボール	184
図 9-18	サスペンドードはんだボール	184
図 9-19	同じ BGA 上の細長く伸びた接続と正常な接続	185
図 9-20	はんだブリッジ	185
図 9-21	不完全なはんだリフロー	186
図 9-22	ソルダペーストの転写がされていない。	186
図 9-23	ノンウェットオーブン (NWO)	187
図 9-24	ヘッドオンピロー (HoP)	187
図 A-1	ボイドを評価するための典型的なフロー図	188
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
図 A-3	ランドサイズに関するボイドの直径	193

表

表 3-1	マルチチップモジュール (MCM) の定義	5
表 3-2	2 つの回路層上の、導体数とアレイサイズ	6
表 3-3	パッドクレータリングに関する IPC 規格	13
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 4-2	プラスチック BGA(PBGA) のボール径のサイズ	24
表 4-3	ダイサイズ BGA(DSBGA) のボール径のサイズ	24
表 4-4	ランドパターンの設計	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 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
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
表 4-12	ボールサイズ毎の制御されたコプラナリティ	47
表 4-13	感湿性の分類レベルおよびフロアライフ	48
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
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
表 5-3	ビア充填のオプション	61
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
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
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
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
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
表 6-6	はんだランドの最大とピッチの関係 (mm)	64
表 6-7	フルアレイのエスケープ方策	71
表 6-8	異なるアレイピッチでの導体および間隙の幅	72
表 6-9	熱伝導における材料タイプの影響	86
表 6-10	特定材料の放射率	87
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
表 7-2	ソルダペーストの良好な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
表 7-3	BGA のピッチ毎のステンシルの厚さ	92
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
表 7-5	ファインピッチ BGA (FBGA) の印刷オプション	94
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
表 7-7	SnPb および SAC 合金間のプロファイル比較	100
表 7-8	各検査手法の適用性に関する推奨事項	117
表 7-9	検査視野	124
表 7-10	ボイドの分類	134
表 7-11	推奨されるボイドプロトコルの例	136
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 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 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 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	ランドのは正処置の指標 (1mm、1.27mm および 1.5mm ピッチの場合)	190
表 A-2	ランドのは正処置の指標 (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は正処置の 指標 (0.3mm、0.4mm または 0.5mm ピッチ の場合)	192