

SiTime 発振器の信頼性計算方法

1 はじめに

半導体部品は、製品寿命まで確実に動作することが期待されています。

最高の信頼性評価を持つデバイスを選択すると、デバイスの原因による市場での製品故障を抑制することができます。

SiTime は MEMS の市場不具合 0 を目標とし、2015 年 1 月時点で 2.5 億以上の発振器を提供しています。

市場不具合 0 というのは非常に印象的ですが、エンジニアは部品が十分な時間軸で信頼性が確保されることを求めています。半導体部品の信頼性を評価するための重要な尺度は、不具合から次の不具合までの平均時間（平均故障間隔（以下、MTBF と称す））です。したがって、MTBF が大きい程、信頼性の高いデバイスであり、耐用寿命がと高いのです。

このアプリケーションノートでは、テストプロセスと SiTime MEMS 発振器の MTBF の計算について説明します。

2 加速試験

半導体部品の予測 MTBF は時間当たり故障率（FIT）の逆数です。これは、統計的に 10 億時間動作させた後に予想される障害数となります。しかし、10 億時間、デバイスをテストすることは現実的ではありません。そのため、短い時間で上昇温度および電圧（バーニン）での加速試験を実施することが一般的なアプローチとなっています。

SiTime は、業界標準の温度（125°C）に設定したチャンバー内でバーニン検査を実施しました。しかしながら、部品に電源投入されることで消費電力相当の発熱により、ストレス試験中及び動作中に接合部温度で 5 度の上昇が、典型的に存在します。表 1 の値には、これらのことを織り込んでいます。温度による加速係数 AFT は、アレニウスの関係と以下の式 1 を使用し、標準動作温度に基づいて計算します。

$$A_{FT} = e^{\left(\frac{E_a}{k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad \text{式 (1)}$$

Table 1. Parameter values for acceleration factor due to temperature

Parameter	Description	Value
E_a	Activation energy	0.7 eV
k	Boltzmann's constant	8.63×10^{-5}
T_o	Operating temperature	30°C or 303K
T_s	Temperature under stress	130°C or 403K

SiTime の発振器の公称動作電圧は 3.3V です。ストレス試験では、公称電圧より約 10% 高い電源電圧 (3.6V) で行いました。電圧による加速係数 AFV は、表 2 で指定されたパラメータと式 2 を用いて計算します。

$$A_{FV} = e^{\frac{(V_s - V_o)}{\gamma t_{ox}}} \quad \text{式 (2)}$$

Table 2. Parameter values for acceleration factor due to voltage

Parameter	Description	Value
γ	Gamma, voltage exponent factor for gate oxide	3.88
t_{ox}	Gate oxide thickness	32 Å
V_o	Operating voltage	3.3 V
V_s	Voltage under stress	3.6 V

3 SiTime 発振器の結果

SiTime は累積試験時間 3,307,000 時間 発振器に対してストレス試験を行いましたが、不具合は発生しませんでした。次に、式 3 のように統計的手法を使用することで、10 億時間後の不具合数に相当する信頼度を示す尺度を予測することが可能です。ここでは、バーンイン検査のデバイス時間の値となります。

$$FIT_0 = \frac{\chi^2 \times 10^9}{2 \times n} \quad \text{式 (3)}$$

算出した結果、不具合 0 の 90% の信頼水準について、 χ^2 の値は 4.6 となりました。

これらの値を式 3 に代入すると、 FIT_0 は 696.3 という結果が得られます。これは、式 1、2 から加速係数を用いて加速試験条件を補正するために必要となります。そして、補正後の最終的な FIT が式 4 で求められます。

$$FIT = \frac{FIT_0}{A_{FT} \times A_{FV}} \quad \text{式 (4)}$$

表 1 と表 2 の値を使用し、加速因子および FIT_0 の値を算出した結果、SiTime 発振器の最終的な FIT 値は、次のとおりです。

$$FIT = 0.88 \quad \text{式 (5)}$$

MTBF は FIT の逆数で billions of hours で表現されます。上記で算出した FIT から、MTBF は約 11.4 億時間以上 (130,000 年) です。

図 1 に示すように、競合他社の水晶ベースの発振器と比較すると桁違いの MTBF であることが分かります。

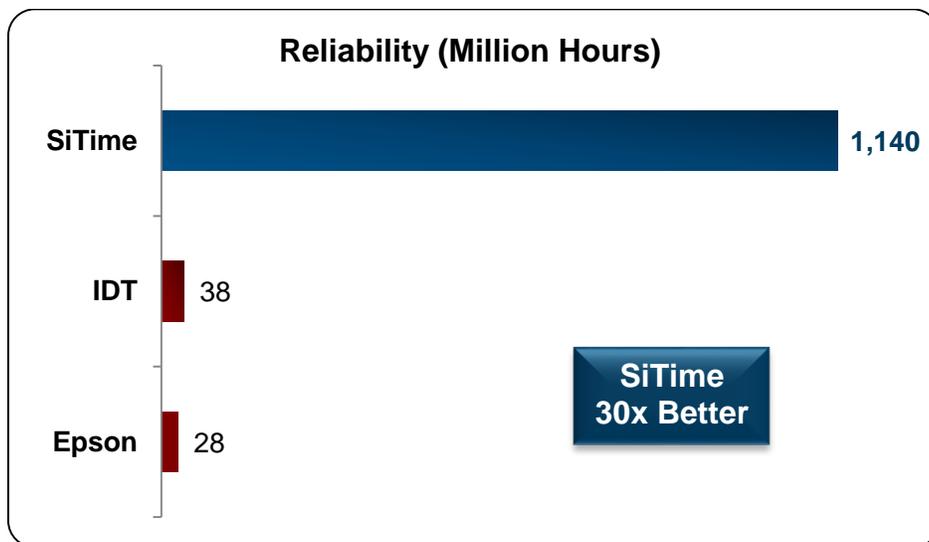


Figure 1. Reliability of SiTime MEMS-based and quartz-based oscillators in terms of MTBF

4 結論

信頼性試験の結果、SiTime の発振器は、11.4 億時間以上の MTBF に相当する 0.9FIT 未満であることを示しています。この結果は水晶振動子の MTBF に比べて 30 倍良い値であり、SiTime の MEMS 振動子がタイミングデバイス市場でもっとも信頼性が高いことを示しています。

Other reliability and resiliency application notes on SiTime oscillators

<http://www.sitime.com/support/application-notes>

SiT-AN10045 Resilience and Reliability of Silicon MEMS Oscillators

SiT-AN10032 Shock and Vibration Comparison of MEMS and Quartz-based Oscillators

SiT-AN10031 Electromagnetic Susceptibility Comparison of MEMS and Quartz-based Oscillators

Revision History

Version	Release Date	Change Summary
1.0	1/12/14	Original doc
1.5	2/27/ 2014	Updated MTBF and FIT numbers
2.0	3/23/15	Added revision history Updated MTBF and FIT numbers

SiTime Corporation
990 Almanor Avenue
Sunnyvale, CA 94085
USA
Phone: 408-328-4400
<http://www.sitime.com>

© SiTime Corporation, 2008-2015. The information contained herein is subject to change at any time without notice. SiTime assumes no responsibility or liability for any loss, damage or defect of a Product which is caused in whole or in part by (i) use of any circuitry other than circuitry embodied in a SiTime product, (ii) misuse or abuse including static discharge, neglect or accident, (iii) unauthorized modification or repairs which have been soldered or altered during assembly and are not capable of being tested by

SiTime under its normal test conditions, or (iv) improper installation, storage, handling, warehousing or transportation, or (v) being subjected to unusual physical, thermal, or electrical stress.

Disclaimer: SiTime makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this material, and specifically disclaims any and all express or implied warranties, either in fact or by operation of law, statutory or otherwise, including the implied warranties of merchantability and fitness for use or a particular purpose, and any implied warranty arising from course of dealing or usage of trade, as well as any common-law duties relating to accuracy or lack of negligence, with respect to this material, any SiTime product and any product documentation. Products sold by SiTime are not suitable or intended to be used in a life support application or component, to operate nuclear facilities, or in other mission critical applications where human life may be involved or at stake.