

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ

А.В. Луцкий, А.В. Абрамчук
Научные руководители –
Пискну Г.А., к.т.н., доцент
Алексеев В.Ф., к.т.н., доцент

**Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники**

Электромагнитный импульс (ЭМИ) – это быстрое ускорение заряженных частиц, которое может вызвать выброс электромагнитной энергии высокой интенсивности. Из-за этой огромной электромагнитной энергии наши электрические сети, коммуникационные и компьютерные системы могут быть разрушены. В работах [1–12] достаточно подробно рассмотрены вопросы воздействия ЭМИ на полупроводниковые структуры и электронные схемы (ЭС).

В реальной обстановке ЭС, входящие в компьютерные системы, подвержены воздействию электромагнитных полей излучения от большого числа источников, которые оказывают влияние на их нормальную работу. Это является следствием той или иной электромагнитной обстановки (ЭМО).

Электромагнитная обстановка в рассматриваемой области пространства определяется как совокупность электромагнитных полей этой области, влияющих на качество функционирования ЭС (вызывающих сбои, кратковременные отказы в работе или полный выход их из строя). Природа электромагнитного излучения различна. Все типы источников ЭМИ генерируются как повторяющиеся и регулярные последовательности импульсов.

Электромагнитные помехи (ЭМП) в окружающем пространстве создаются источниками, излучение которых не предусмотрено их функциональным назначением, а также источниками естественного происхождения. При этом влияние источников ЭМП на ЭС, приводящее к ухудшению качества их функционирования, как правило, сопровождается деградационными последствиями для этих средств. ЭМО, которая соответствует таким последствиям, является неблагоприятной, что может привести к ухудшению качества функционирования или выходу из строя полупроводниковых приборов, составляющих основу современных ЭС.

Проведенные исследования указывают на сильную чувствительность полупроводниковых структур к воздействию ЭМП [2]. Характер их повреждений в условиях неблагоприятной ЭМО зависит от режимов работы приборов, их функционального назначения, технологии производства, а также от самой конструкции прибора. Исходя из этого, очевидно, что надежность полупроводниковых приборов в условиях ЭМП можно повысить оптимизацией их конструкции, производства и эксплуатации с позиции их электромагнитной устойчивости.

Для решения указанной задачи необходимо определить параметры ЭМП, вызывающих сбои в работе ЭС, механизмы деградации полупроводниковых элементов, разработать методы оценки отказов приборов и прогнозирования их работоспособности в рассматриваемых условиях.

Отказы в полупроводниковых приборах при наличии ЭМП часто являются не только результатом непосредственного действия импульса, но следствием целого ряда известных гальванотермических эффектов. Эти эффекты могут также возникать и как реакция на действие ЭМИ. Деградация интегральных схем (ИС), нестабильность их параметров обуславливаются суммированием эффектов воздействия ЭМИ и режимов работы ИС, а также пространственным положением полупроводникового кристалла относительно направления прихода импульса.

Основной мишенью любого электромагнитного импульса являются полупроводниковые приборы. В устройствах на базе биполярных транзисторов пробой происходит из-за обратного смещения перехода, вызванного ЭМИ. Другим эффектом воздействия импульса является термическое повреждение *p-n*-перехода. В устройствах с полевым транзистором, таких как МОП-транзистор, возникают очень сильные электрические поля, которые прорываются через диэлектрик затвора, вызываемые ЭМИ.

Импульсы имеют очень острый передний фронт и быстро достигают максимального уровня. Энергия ЭМИ распространяется по проводам и цепям электронных устройств. Сложные схемы с большим количеством проводов, как правило, захватывают больше энергии. За несколько наносекунд ЭМИ излучает энергию до 50000 вольт в электронную схему [9, 12]. Этот импульс полностью расплавляет цепь. Современные компьютерные процессоры, которым требуются меньшие пути, являются уязвимыми к действию ЭМИ.

Более мелкие соединения, расположенные ближе друг к другу, легко разрываются и поэтому быстро плавятся. Логические схемы внутри электронной системы также легко повреждаются скачками энергии. Энергетический разрыв может даже разрушить отключенные электронные схемы. Энергия ЭМИ распространяются как радиоволны. Электромагнитная энергия создает огромные токи в проводниках, которые являются частью электронных схем, подключенных к любой электрической системе или устройствам, и из-за этих огромных токов любая электрическая система страдает от следующих повреждений:

- электромагнитная энергия создает в проводниках большие токи, которые повреждают устройство независимо от того, подключено оно или нет;
- если ток проводов каких-либо проводников или компонентов превышает допустимый предел, это может привести к повреждению устройства;

– превышение пределов наведенного напряжения и напряжения пробоя изоляции приводит к повреждению устройства;

– скачки напряжения проникают через металлооксидные затворы в полупроводниках, разрушая их.

Электромагнитный импульс небольшой продолжительности и огромной мощности может навсегда разрушить электронные и электрические схемы.

Под действием внешнего магнитного поля от ЭМИ может измениться удельное сопротивление полупроводника или его электронная доля теплопроводности (эффект Маджи-Риги-Ледюка). При этом в некоторых полупроводниках обнаруживается пик электрического сопротивления.

В полупроводниках со сверхрешетками имеется явно выраженное распределенное электростатическое поле внутри кристаллической решетки, величина которого зависит от наличия внешних полей. При воздействии ЭМИ, очевидно, что это распределение внутреннего поля нарушается, что приводит к изменению электрических свойств полупроводников со сверхрешетками.

Библиографический список

1. Alexseev, V. Modeling a two-level risk reduction of an enterprise in the formation of staff competence / V. Alexseev, V. Matyushkov, A. Pisarchik // Scientific Community: Interdisciplinary Research : Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference, Hamburg, January 26-28 2022 / InterConf. – Hamburg, 2022. – P. 104–109.

2. Zhuravliov V., Alexeev V. Influence of electromagnetic impulses on degradation of ICs. // XXVth General Assembly of the International Union of Radioscience. Lille, France. – 1996. – p.258.

3. Журавлев В. И., Алексеев В. Ф. Моделирование реакции полупроводниковых структур на действие электромагнитных помех. / Белгосуниверситет информатики и радиоэлектроники. – Мн., 1999. – 20 с. – Деп. в БелИСА 13.07.1999, № 199980.

4. The Impact of ESD on Microcontrollers / G. A. Piskun, V. F. Alexeev, S. M. Avakov, V. E. Matyushkov, D. S. Titko // Ed. by V. E. Alexeev. Minsk: Kolorgrad, 2018. 184 p.

5. Alexeev, V. F. Modeling of nonstationary heating of semiconductor structures under HEMP actions with short pulse duration / V. F. Alexeev, V. I. Zhuravliov // IEEE Transactions on Device and Materials Reliability. – 2006. – Vol. 6, № 3. – P. 429 – 435. – DOI: 10.1109/TDMR.2006.882200.

6. Zhuravliov, V. Thermal conductivity influence on failures of semiconductor ICs under powerful EMP action / Vadim Zhuravliov, Victor Alexeev // The 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC): Symp. Rec. - 2003. – Vol. 2. - P. 1040-1042. - DOI: 10.1109/ICSMC2.2003.1429092.

7. Пискун, Г. А. Распределение температуры в токоведущих элементах печатной платы при воздействии электромагнитного импульса длительностью до 2-х наносекунд / Г. А. Пискун, В. Ф. Алексеев, А. А. Денисов // Электронный депозитарий научных изданий БелИСА. – 2018. – №Д201806 от 05.01.2018.

8. Chen Xiuqiao; Hu Yihua; Zhang Jianhua; Huang Yourui; He Li, "The simulation of electromagnetic pulse coupling with computer box," in Computational Electromagnetics and Its Applications, 2004. Proceedings. ICCEA

2004. 2004 3rd International Conference on , vol., no., pp.260-263, 1-4 Nov. 2004.

9. Алексеев, В. Ф. Использование кондуктивной схемы испытаний реакции полупроводниковых приборов на внешний ЭМИ / В. Ф. Алексеев, В. И. Журавлев, В. П. Бруцкий-Стемпковский // Известия Белорусской инженерной академии, Минск. – 2005. – № 1 (19)/1. – С. 28–31.

10. Алексеев, В. Ф. Тепловые модели отказов полупроводниковых структур при воздействии мощных электромагнитных импульсов / В. Ф. Алексеев, В. И. Журавлев // Доклады БГУИР. - 2005. - № 2 (10). - С. 65 - 72.

11. Sheng-quan Zheng; Dong-yun Hou; Dong-dong Wang; Feng Deng, "Electromagnetic pulse protection requirements and test methods for systems," in Antennas, Propagation & EM Theory (ISAPE), 2012 10th International Symposium on, vol., no., pp.857-860, 22-26 Oct. 2012.

12. Журавлёв В.И., Алексеев В.Ф. Импульсный нагрев ИС электромагнитными помехами. // Петербургский журнал электроники. – 1999. – №3. – с.67-72.