

## Модификация диэлектрических пленок МДП-структур инжекционно-термической обработкой

В. В. Андреев, Г. Г. Бондаренко, А. А. Столяров, Д. М. Ахмелкин

---

Проведена модификация диэлектрических пленок МДП-структур и границ раздела кремний-диэлектрик методом инжекционно-термической обработки (ИТО), заключающейся в сильнополевой инжекции заданной величины заряда в подзатворный диэлектрик с последующим отжигом структуры. Исследовано влияние режимов ИТО на модификацию МДП-структур. Показано, что проведение ИТО позволяет снижать дефектность диэлектрических пленок, повышая надежность МДП-приборов. Установлено, что процессы модификации МДП-структур, наблюдающиеся при ИТО, во многом идентичны процессам, происходящим при радиационно-термической обработке (РТО), и, следовательно, для определенных видов МДП-приборов РТО может быть заменена на ИТО.

**Ключевые слова:** МДП-структура, диэлектрическая плёнка, инжекционно-термическая обработка, сильные электрические поля, инжекционный ток, контроль.

---

### Введение

Модификация МДП-структур, направленная на уменьшение дефектности подзатворного диэлектрика и повышения надежности приборов на их основе, является перспективным направлением развития современной микроэлектроники. Для модификации МДП-структур в настоящее время широко используют различного рода обработки, такие как: радиационное облучение, плазменные воздействия, отжиги, легирование и т.д. [1 – 5]. В последнее время для повышения надежности интегральных микросхем и полупроводниковых приборов с МДП-структурой широко применяют радиационно-термическую обработку (РТО), заключающуюся в радиационном облучении полупроводниковых кристаллов с последующим отжигом [2 – 4]. Однако проведение РТО сопряжено с определенными техническими сложностями и не позволяет получать информацию об изменении характеристик структуры во время обработки. В [6 – 8] была показана идентичность большинства процессов, протекающих в подзатворном диэлектрике МДП-структур при воздействии ионизирующей радиации и при сильнополевой инжекции электронов в диэлектрик. К достоинствам сильнополевой инжекции следует отнести более простую техническую реализацию, возможность

индивидуальной обработки каждого прибора, а также возможность мониторинга изменений характеристик структуры во время ее обработки. Инжекционно-термическая обработка (ИТО), заключающаяся в сильнополевой инжекции в подзатворный диэлектрик заданной величины заряда и последующем отжиге МДП-структуры, может не только заменить РТО, но и позволит проводить индивидуальную управляемую модификацию структуры, уменьшая дефектность диэлектрической пленки и повышая надежность приборов [9].

Цель данной работы — исследование режимов ИТО при модификации МДП-структур: определение режимов сильнополевой туннельной инжекции электронов в подзатворный диэлектрик МДП-структур, а также влияние температуры кристалла, при которой проводится инжекция, на плотности зарядовых дефектов и инжекционную стойкость.

### Методика эксперимента и образцы

В качестве экспериментальных образцов использовали тестовые МДП-конденсаторы на основе термического диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), изготовленные промышленным способом на пластинах кремния КЭФ-4,5. Пленку  $\text{SiO}_2$  толщиной 30 – 50 нм получали термическим окислением кремния в атмосфере

кислорода при температурах 850 – 1000 °С с добавлением 3% HCl. В качестве затвора (верхнего электрода) использовали плёнки поликремния (Si\*) толщиной 0,6 мкм, легированные фосфором до 20 Ом/□ площадью  $10^{-4} - 10^{-2}$  см<sup>2</sup>.

Инжекционная обработка МДП-структур заключается в сильнополевой по Фаулеру – Нордгейму инжекции электронов из кремния в подзатворный диэлектрик МДП-структур импульсом постоянного тока рис. 1а или напряжения рис. 1б при температуре образца от 20 до 100 °С. Инжекция электронов из кремния была выбрана для обеспечения режима аккумуляции и упрощения интерпретации экспериментальных данных [9, 10].

В режиме управляемого тока [9 – 12] для инжекционной модификации МДП-структуры использовали двухуровневый токовый импульс рис. 1а. Участок I на рис. 1а, б соответствует заряду емкости МДП-структуры постоянным измерительным током  $I_m$ . На этом участке весь ток, протекающий через диэлектрик, является емкостным. На участках II и IV заряд инжектируется в диэлектрик постоянным током  $I_m$ . Для модификации используется инжекция заряда стрессовым током  $I_s$  на участке III. Амплитуда  $I_m$  должна быть много меньше амплитуды тока  $I_s$  для того, чтобы корректно контролировать изменение

зарядового состояния МДП-структур после модификации (участок IV) [10]. Контроль изменения зарядового состояния МДП-структуры при инжекционной обработке в режиме управляемого тока проводили по временной зависимости напряжения на МДП-структуре рис. 1б [10 – 12].

Более простой метод инжекционной обработки МДП-структур — режим постоянного напряжения рис. 1в. Изменение зарядового состояния МДП-структуры в этом режиме контролируется по временной зависимости инжекционного тока, протекающего через подзатворный диэлектрик рис. 1з. К недостаткам этого режима следует отнести изменение режимов инжекции в процессе накопления зарядов в объеме подзатворного диэлектрика и, как следствие, усложнение контролируемой модификации МДП-структур [1, 13], а также необходимость учета емкостной составляющей тока (на рис. 1з емкостной ток не показан).

В данной работе для инжекционной обработки МДП-структур в основном использовали режим управляемого тока. Режим постоянного напряжения применяли только для МДП-структур с малой площадью затвора, для которых сложно было реализовать режим управляемого тока. Инжекционную обработку в основном проводили при стрессовом уровне тока 0,1 – 1 мА/см<sup>2</sup>, что позволяло обеспечить малые времена обработки. Плотность измерительного тока при реализации режима управляемого тока рис. 1а составляла 0,1 мкА/см<sup>2</sup>.

При проведении ИТО МДП-структуры после инжекционной обработки отжигали при температуре 200 °С в течение 20 мин [9, 12].

Для оценки дефектности МДП-структур до и после ИТО использовали метод управляемой токовой нагрузки [10, 14], в котором величина заряда, инжектированного до его пробы [9, 10, 15], измерялась, как правило, в режиме поддержания постоянной плотности тока, соответствующей плотности стрессового тока при модификации.

Для исследования влияния радиационного облучения на зарядовое состояние МДП-структур использовали ионизирующее излучение гамма-квантов (источник Co<sup>60</sup>).

Для контроля изменения зарядового состояния МДП-структур после инжекционных обработок и радиационного облучения применяли методы многоуровневой токовой нагрузки [10] и C – V характеристик.

### Экспериментальные результаты и обсуждения

Для выбора режимов инжекционной обработки МДП-структур было проведено исследование

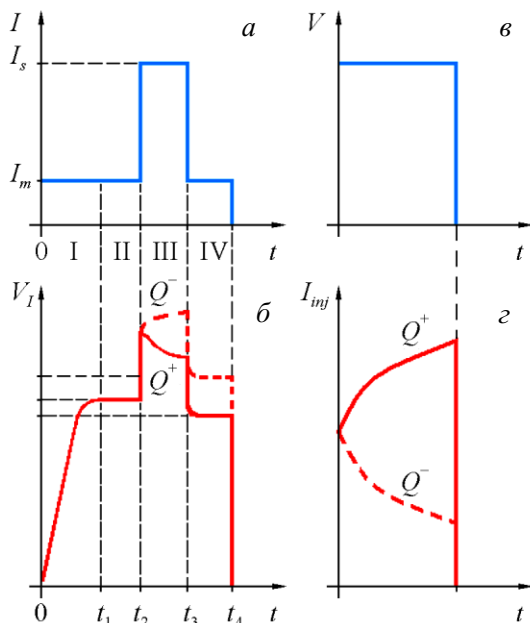


Рис. 1. Временные зависимости инжекционной обработки в режиме управляемого тока (а) и постоянного напряжения (в). Контроль изменения зарядового состояния: б – режим управляемого тока, осуществляется по временной зависимости напряжения на МДП-структур, з – режим постоянного напряжения, – по временной зависимости тока, протекающего через диэлектрик.

процессов зарядовой модификации и деградации подзатворного диэлектрика при туннельной по Фаулеру – Нордгейму инжекции электронов из кремниевой подложки при разной плотности стрессового инжекционного тока в диапазоне температур полупроводника от 20 до 100 °С. Полученные результаты приведены на рис. 2. Как было показано в [1, 13, 16 – 18], основные механизмы изменения зарядового состояния МДП-структур при высокополевой инжекции электронов следующие: накопление положительного заряда в подзатворном диэлектрике у границы раздела Si – SiO<sub>2</sub>, генерация поверхностных состояний и захват электронов в объеме диэлектрика на исходных и вновь создаваемых электронных ловушках. Экспериментальные данные, приведенные на рис. 2, хорошо согласуются с этими представлениями. Кривые 1 и 1' на рис. 2 измерены при одной температуре и характеризуют полевую зависимость величины положительного заряда, генерируемого в подзатворном диэлектрике при высокополевой инжекции электронов. С повышением температуры полупроводника существенно возрастает вероятность пробоя подзатворного диэлектрика, уменьшается величина накапливаемого положительного заряда и возрастает скорость накопления отрицательного заряда рис. 2, кривые 2 и 3. Проведенное облучение МДП-структур гамма квантами при дозе 10<sup>6</sup> рад показало, что аналогичные изменения зарядового состояния структуры, которые контролировались по C – V характеристикам, наблюдаются при инжекции заряда 0,5 мКл/см<sup>2</sup> (при плотности инжекционного тока 1 мА/см<sup>2</sup>) и инжекции заряда 2 мКл/см<sup>2</sup> (при плотности инжекционного тока 0,1 мА/см<sup>2</sup>). Эти результаты учитывают полевую

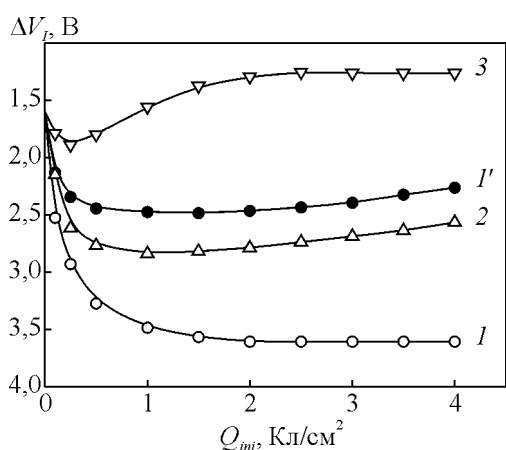


Рис. 2. Зависимости сдвига напряжения на МДП-структуре в процессе инжекции в режиме постоянного тока (1' – 0,1 мА/см<sup>2</sup>; 1 – 3 – 1 мА/см<sup>2</sup>) от величины инжектированного заряда при разных температурах полупроводника, °С: 1, 1' – 20; 2 – 50; 3 – 100.

зависимость изменения зарядового состояния МДП-структур при высокополевой туннельной инжекции в диэлектрик электронов и согласуются с данными [15 – 18].

На рис. 3а представлены относительные гистограммы распределения МДП-структур по величине  $Q_{inj}^{BD}$  плотности заряда, инжектированного до пробоя образца, характеризующие проведение инжекционной обработки при плотности инжекционного тока 1 мА/см<sup>2</sup>. На рис. 3а гистограммы 2 и 3 соответствуют группам МДП-структур, прошедшим инжекционную обработку при 20 °С, гистограммы 1 — группе структур, не подвергавшихся обработке. Гистограммы 2 и 3 на рис. 3а отличаются величиной заряда, инжектированного в подзатворный диэлектрик при проведении инжекционной обработки:

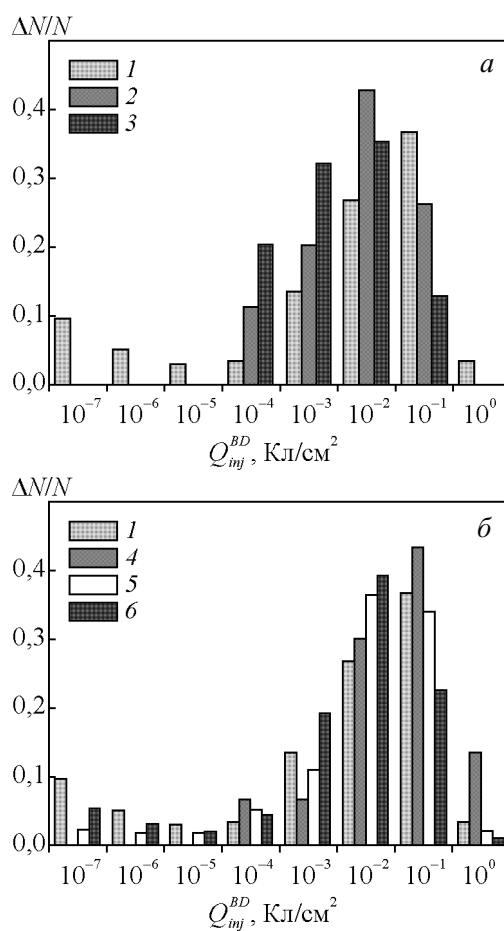


Рис. 3. Относительные гистограммы зарядовой стабильности, характеризующие распределение МДП-структур по пластине в зависимости от величины заряда, инжектированного в диэлектрик до их пробоя для образцов без обработки (1) и после инжекционной обработки (2 – 6): а) для различной величины заряда, инжектированного при ИТО, мКл/см<sup>2</sup>: 2 – 0,5; 3 – 2, б) после ИТО при разных температурах, °С: 4 – 20; 5 – 50; 6 – 100.

2 — 0,5 мКл/см<sup>2</sup>; 3 — 2 мКл/см<sup>2</sup>. Как видно из рис. 3а, инъекционная обработка позволяет исключить структуры с грубыми зарядовыми дефектами (плотность заряда, инжектированного до пробоя, менее 0,1 мКл/см<sup>2</sup>) и, тем самым, значительно повысить надежность приборов и интегральных микросхем. Однако при такой обработке может происходить снижение инжекционного ресурса структур и приборов на их основе. Такое снижение ресурса объясняется зарядовой деградацией, как самой диэлектрической пленки, так и границы раздела кремний – диоксид кремния, протекающей при инъекции заряда [1, 14 – 18]. Снижение ресурса увеличивается при возрастании величины заряда, инжектированного при обработке (рис. 3а, гистограмма 3). Следовательно, основными параметрами при ИТО, определяющими ее эффективность, являются величина электрического поля, при которой проводится инъекция, и величина заряда, инжектированного в диэлектрик. Для каждого конкретного подзатворного диэлектрика эти параметры должны подбираться экспериментально.

При проведении ИТО в МДП-структурах протекают деградационные процессы аналогичные процессам, возникающим при радиационном облучении [6 – 8]. Для их устранения обычно проводят отжиг образца после обработки. В нашем случае отжиг инъекционно обработанных МДП-структур проводили при температуре 200 °С в течение 20 мин. Для МДП-структур, прошедших ИТО при плотности инжекционного тока 1 мА/см<sup>2</sup> и величине инжектированного заряда 0,5 мКл/см<sup>2</sup>, проведение такого отжига позволяло практически полностью восстановить электрофизические характеристики, устранив последствия деградационных процессов. При инъекции заряда больше 2 мКл/см<sup>2</sup> проведение такого отжига не устраняло полностью деградацию характеристик МДП-структур.

На рис. 3б показаны относительные гистограммы распределения МДП-структур по величине заряда, инжектированного до пробоя образца, характеризующие проведение ИТО. Гистограммы 4 – 6 соответствуют группе МДП-структур, прошедших ИТО (0,5 мКл/см<sup>2</sup>), гистограмма 1 — группе структур, не подвергавшихся обработке.

Из гистограмм, приведенных на рис. 3б, видно, что ИТО позволяет выявлять и устранять структуры с грубыми дефектами изоляции. Благодаря применению ИТО происходит заметное повышение инжекционной и радиационной стойкости МДП-структур, что может быть объяснено образованием более совершенной структуры подзатворного диэлектрика, поскольку сильнополевая инъекция

электронов разрывает напряженные связи в пленке SiO<sub>2</sub> и на границе раздела Si – SiO<sub>2</sub>, а последующий отжиг восстанавливает валентные связи, но уже без их деформации [1 – 4].

Установлено, что ИТО, в которой сильнополевую инъекцию электронов в подзатворный диэлектрик проводили при повышенных температурах, может привести к ухудшению надежностных характеристик МДП-приборов (рис. 3б). Это проявляется в уменьшении средней величины заряда, инжектированного до пробоя, для МДП-структур, в которых ИТО выполнялось при повышенных температурах. Одной из причин этого является существенное возрастание скорости деградационных процессов при сильнополевой инъекции электронов при повышенных температурах. В [15] было показано, что при повышенных температурах уменьшается энергия, необходимая для обрыва связей в пленке SiO<sub>2</sub>. Следовательно, при повышенных температурах электроны с меньшей энергией могут вызвать образование дефектов в SiO<sub>2</sub> и на границе раздела Si – SiO<sub>2</sub>. В результате уменьшается средняя величина заряда, инжектированного до пробоя, и появляются структуры с низким значением  $Q_{inj}^{BD}$  (рис. 3б, гистограммы 5 и 6). Таким образом, для уменьшения вероятности пробоя подзатворного диэлектрика и повышения эффективности ИТО сильнополевую инъекцию заряда лучше проводить при комнатной температуре, а возникающие при этом деградационные эффекты снимать последующим отжигом.

## **Выводы**

Показано, что процессы модификации и деградации МДП-структур, наблюдающиеся при ИТО, во многом идентичны процессам, происходящим при РТО, и, следовательно, для определенных видов МДП-приборов РТО может быть заменена на ИТО.

Установлено, что проведение ИТО позволяет повысить надежность и выявлять МДП-приборы, содержащие зарядовые дефекты в подзатворном диэлектрике.

Определены основные параметры при ИТО, определяющие ее эффективность — величина электрического поля, при которой проводится инъекция, и величина заряда, инжектированного в диэлектрик. Для каждого конкретного подзатворного диэлектрика эти параметры должны подбираться экспериментально.

Показано, что для уменьшения вероятности пробоя подзатворного диэлектрика и повышения эффективности ИТО сильнополевую инъекцию электронов лучше проводить при комнатной тем-

пературе, а возникающие при этом деградационные эффекты снимать последующим отжигом.

*Работа выполнена в рамках государственного задания МГТУ им. Н.Э. Баумана министерства образования и науки РФ (проект № 1117) и в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2014 году.*

## Литература

1. Strong A.W., Wu E.Y., Vollertsen R., Sune J., Rosa G.L., Rauch S.E., Sullivan T.D. Reliability wearout mechanisms in advanced CMOS technologies. Wiley-IEEE Press, 2009, 624 p.
2. United States Military Standard MIL-STD-883H Method 1019.8.
3. Катеринич И.И., Курин Ф.М., Попов В.Д. Метод радиационно-термической обработки и повышения надёжности МОП интегральных схем. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 1996, вып. 3 – 4, с. 127 – 132.
4. Воронкова Г.М., Попов В.Д., Протопопов Г.А. Уменьшение плотности ловушечных центров в оксиде кремния при радиационно-термической обработке. Физика и техника полупроводников, 2007, т. 41, вып. 8, с. 977 – 980.
5. Bondarenko G.G., Andreev V.V., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Drach V.E. Plasma and injection modification of gate dielectric in MOS structures. Thin solid films, 2003, v. 427, p. 377 – 380.
6. Knoll M., Brauning D., Fahrner W.R. Comparative studies of tunnel injection and irradiation on metal oxide semiconductor structures. J. Appl. Phys., 1982, v. 53, p. 6946 – 6952.
7. Андреев В.В., Бедняков А.А., Новиков Л.С., Соловьев Г.Г., Столяров А.А., Лоскутов С.А. Сравнительное исследование зарядового состояния МДП-структур при облучении протонами и инъекции заряда в сильных электрических полях. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2002, вып. 1 – 2, с. 61 – 66.
8. Park M.S., Na I., and Wie C.R. A comparison of ionizing radiation and high field stress effects in n-channel power vertical double-diffused metal-oxide-semiconductor field-effect transistors. J. Appl. Phys., 2005, v. 97, p. 014503 (1 – 6).
9. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Михальков А.М., Столяров А.А., Соловьев И.В. Повышение инжекционной и радиационной стойкости наноразмерных диэлектрических пленок МДП-приборов. Перспективные материалы, 2011, № 3, с. 29 – 32.
10. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures. IOP

Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2012, v. 41, p. 012017 (1 – 6).

11. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Коротков С.И. Инжекционная модификация многослойных диэлектрических слоев структур металл-диэлектрик-полупроводник при различных температурах. Перспективные материалы, 2013, № 7, с. 31 – 36.
12. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Modification of gate dielectric in MOS devices by injection-thermal and plasma treatments. Acta Phys. Pol. A, 2014, v. 125, no. 6, p. 1371 – 1373.
13. Fischetti M.V. Generation of positive charge in silicon dioxide during avalanche and tunnel electron injection. J. Appl. Phys., 1985, v. 57, p. 2860 – 2879.
14. Андреев В.В., Столяров А.А., Дмитриев В.Г., Романов А.В. Инжекционные методы контроля подзатворного диэлектрика МДП-ИМС. Наукоемкие технологии, 2012, т. 13, № 10, с. 20 – 28.
15. Apte P.P., Saraswat K.C. Correlation of trap generation to charge-to-breakdown (Qbd): a physical-damage model of dielectric breakdown. IEEE Trans. Electron Dev., 1994, v. 41, no. 9, p. 1595 – 1602.
16. Lombardo S., Stathis J.H., Linder P., Pey K.L., Palumbo F., Tung C.H. Dielectric breakdown mechanisms in gate oxides. J. Appl. Phys., 2005, v. 98, p. 121301 (1 – 36).
17. Arnold D., Cartier E., DiMaria D.J. Theory of high-field electron transport and impact ionization in silicon dioxide. Phys. Rev. B, 1994, v. 49, no. 15, p. 10278 – 10297.
18. Bondarenko G.G., Andreev V.V., Drach V.E., Loskutov S.A., Stolyarov M.A. Study of temperature dependence of positive charge generation in thin dielectric film of MOS structure under high-fields. Thin solid films, 2006, v. 515, p. 670 – 673.

## References

1. Strong A.W., Wu E.Y., Vollertsen R., Sucy J., Rosa G.L., Rauch S.E., Sullivan T.D. Reliability wearout mechanisms in advanced CMOS technologies. Wiley-IEEE Press, 2009. ISBN: 0471731722. 624 p.
2. United States Military Standard MIL-STD-883H Method 1019.8.
3. Katerinich I.I., Kurin F.M., Popov V.D. Metod radiatsionno-termicheskoy obrabotki i povysheniya nadyozhnosti MOP integralnykh skhem [Method of radiation-thermal treatment and improve reliability of MOS integrated circuits]. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Ser. Fizika radiatsionnogo vozdeystviya na radioelektronnyuyu apparaturu — Problems of atomic science and technology. Ser. Physics of radiation effects on electronic equipment*, 1996, iss. 3 – 4, pp. 127 – 132.
4. Voronkova G.M., Popov V.D., Protopopov G.A. Umensheniye plotnosti ловушечnykh tse ntrov v okside kremniya pri radiatsionno-termicheskoy obrabotke [Decrease of trap centers density in silicon oxide under radiation-thermal treatment]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov — Semiconductors*, 2007, vol. 41, iss. 8, pp. 977 – 980.

5. Bondarenko G.G., Andreev V.V., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Drach V.E. Plasma and injection modification of gate dielectric in MOS structures. *Thin solid films*, 2003, vol.427, pp. 377 – 380.
6. Knoll M., Brauning D., Fahrner W.R. Comparative studies of tunnel injection and irradiation on metal oxide semiconductor structures. *J. Appl. Phys.*, 1982, vol. 53, pp. 6946 – 6952.
7. Andreyev V.V., Bednyakov A.A., Novikov L.S., Solovyev G.G., Stolyarov A.A., Loskutov S.A. Srovnitelnoye issledovaniye zaryadovogo sostoyaniya MDP-struktur pri obluchenii protonami i inzhektionsii zaryada v silnykh elektricheskikh polyakh [Comparison study of charge state of MOS structures under irradiation by protons and charge injection in strong electric fields]. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Ser. Fizika radiatsionnogo vozdeystviya na radioelektronnyu apparaturu — Problems of atomic science and technology. Ser. Physics of radiation effects on electronic equipment*, 2002, iss. 1 – 2, pp. 61 – 66.
8. Park M.S., Na I., and Wie C.R. A comparison of ionizing radiation and high field stress effects in n-channel power vertical double-diffused metal-oxide-semiconductor field-effect transistors. *J. Appl. Phys.*, 2005, vol. 97, pp. 014503 (1 – 6).
9. Andreyev B.V., Bondarenko G.G., Mikhalkov A.M., Stolyarov A.A., Solovyev I.V. Povysheniye inzhektionsnoy i radiatsionnoy stoykosti nanorazmernykh dielektricheskikh plenok MDP-priborov [Increase of injection and radiation resistance of nano-size dielectric films of MOS devices]. *Perspektivnye materialy — Advanced materials*, 2011, no. 3, pp. 29 – 32.
10. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2012, vol. 41, pp. 012017 (1 – 6).
11. Andreyev V.V., Bondarenko G.G., Stolyarov A.A., Korotkov S.I. Inzhektionsionnaya modifikatsiya mnogosloynnykh dielektricheskikh sloyev struktur metall-dielektrikopoluprovodnik pri razlichnykh temperaturakh [Injection modification of multiplayer dielectric MOS structures under different temperatures]. *Perspektivnye materialy — Advanced materials*, 2013, no. 7, pp. 31 – 36.
12. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Modification of gate dielectric in MOS devices by injection-thermal and plasma treatments. *Acta Phys. Pol. A*, 2014, vol. 125, no. 6, pp. 1371 – 1373.
13. Fischetti M.V. Generation of positive charge in silicon dioxide during avalanch and tunnel electron injection. *J. Appl. Phys.*, 1985, vol. 57, pp. 2860 – 2879.
14. Andreyev V.V., Stolyarov A.A., Dmitriyev V.G., Romanov A.V. Inzhektionsionnye metody kontrolya podzatrovnogo dielektrika MDP-IMS [Injection methods of control of MOS IC gate dielectric]. *Naukoyemkiye tekhnologii — Science intensive technologies*, 2012, vol. 13, no. 10, pp. 20 – 28.
15. Apte P.P., Saraswat K.C. Correlation of trap generation to charge-to- breakdown (Qbd): a physical-damage model of dielectric breakdown. *IEEE Trans. Electron Dev.*, 1994, vol. 41, no. 9, pp.1595 – 1602.
16. Lombardo S., Stathis J.H., Linder P., Pey K.L., Palumbo F., Tung C.H. Dielectric breakdown mechanisms in gate oxides. *J. Appl. Phys.*, 2005, vol. 98, pp. 121301 (1 – 36).
17. Arnold D., Cartier E., DiMaria D.J. Theory of high-field electron transport and impact ionization in silicon dioxide. *Phys. Rev. B*, 1994, vol.49, no. 15, pp. 10278 – 10297.
18. Bondarenko G.G., Andreev V.V., Drach V.E., Loskutov S.A., Stolyarov M.A. Study of temperature dependence of positive charge generation in thin dielectric film of MOS structure under high-fields. *Thin solid films*, 2006, vol. 515, pp. 670 – 673.

*Статья поступила в редакцию 13.10.2014 г.*

**Андреев Владимир Викторович** — Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, доктор технических наук, профессор, специалист в области физики полупроводниковых и диэлектрических материалов. E-mail: andreev@bmsu-kaluga.ru.

**Бондаренко Геннадий Германович** — Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики” (НИУ ВШЭ), доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист в области физики конденсированного состояния, радиационной физики твердого тела.

**Столяров Александр Алексеевич** — Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, доктор технических наук, профессор, специалист в области физики полупроводниковых и диэлектрических материалов. E-mail: alalstol@mail.ru.

**Ахмелкин Дмитрий Михайлович** — Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана, аспирант, специалист в области материалов электронной техники. E-mail: p1kf@bmsu-kaluga.ru.

## **Modification of MOS dielectric films by injection-thermal treatment**

**V. V. Andreev, G. G. Bondarenko, A. A. Stolyarov, D. M. Akhmelkin**

It is proposed the modifications of dielectric films of MIS structures and the silicon-insulator interface, to use injection-thermal treatment (ITT). It is high-field injection into the gate dielectric by a given amount of charge and then annealed of the structure. The influence of the modes injection-thermal treatment on the modification of MIS-structures is studied. It is shown that the conduct of injection-thermal treatment helps to reduce the defects of dielectric films, increasing the reliability of the MIS devices. It is found that the modification processes of MIS structures observed during injection-thermal treatment is largely identical to the processes occurring at the radiation-thermal treatment (RTT), and hence, for certain types of MIS devices RTT can be replaced by ITT.

**Keywords:** MOS-structure, dielectric film, injection-thermal treatment, high-field, injection current, test.

---

*Andreev Vladimir — Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, DrSci (Eng), professor. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.*

*Bondarenko Gennadiy — National Research University Higher School of Economics (HSE), DrSci (Phys-Math), professor, head of laboratory. E-mail: bondarenko\_gg@rambler.ru*

*Stolyarov Aleksandr — Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, DrSci (Eng), professor. E-mail: alalstol@mail.ru.*

*Akhmelkin Dmitriy — Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, post graduate student. E-mail: p1kf@bmstu-kaluga.ru.*