

Электрохимический процесс осаждения пленок пермаллоя для магнитополупроводниковых микросистем

*В.В. Амеличев¹, С.А. Поломошнов^{1,2}, Н.Н. Николаева¹,
Р.Д. Тихонов¹, М.А. Куприянова¹*

¹НПК «Технологический центр» (г. Москва)

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Electrochemical Deposition Process for Permalloy Films on Magneto-Semiconductor Microsystems

*V.V. Amelichev¹, S.A. Polomoshnov^{1,2}, N.N. Nikolaeva¹,
R.D. Tikhonov¹, M.A. Kupriyanova¹*

¹SMC «Technological Center», Moscow

²National Research University of Electronic Technology, Moscow

Представлены результаты исследования локального электрохимического осаждения из хлоридного электролита. Получены пленки пермаллоя Ni₈₁Fe₁₉ с магнитными свойствами, аналогичными объемным образцам, равномерные по толщине и с малыми механическими напряжениями без высокотемпературного отжига. Приведены зависимости скорости конгруэнтного осаждения пермаллоя от плотности тока.

Ключевые слова: электролит; пермаллой; электрохимическое осаждение; магнитная проницаемость.

The results of the study on the local electrochemical deposition from chloride electrolyte have been presented and the permalloy films Ni₈₁Fe₁₉ with magnetic properties, similar to 3-d models with the uniform thickness and with low mechanical stresses without high-temperature annealing have been obtained. The dependencies of the congruent deposition velocity on the current density have been presented. The permalloy films are designed to enhance the magnetic field in the magneto-semiconductor microsystems.

Keywords: electrolyte; permalloy; electrodeposition; magnetic permeability.

В состав некоторых современных магнитополупроводниковых микросистем (МПМС) входят пассивные элементы усиления магнитного поля, значительно повышающие индукцию магнитного поля в локальной области магниточувствительного элемента. Исходя из основной функциональной особенности такие элементы получили название «концентраторы магнитного поля» (КМП). Кроме повышения в несколько раз чувствительности к магнитному полю КМП в составе МПМС позволяет расширить области их применения [1].

Наиболее распространенный материал для КМП – пермаллой [2], а один из эффективных способов его нанесения на кремниевые подложки – электрохимическое осаждение. Для этого не только используется специальный технологический процесс на соответствующем оборудовании, но и выполняются технологические операции получения КМП с определенными геометрическими параметрами.

Как правило, КМП формируются электрохимическим осаждением пермаллоя в локальные области МПМС, ограниченные фоторезистивной маской. На дне областей предварительно

должна быть создана металлическая площадка. Для ее формирования использовали комбинацию слоев Al, NiCr и Ni. Для получения пленки пермаллоя необходимого состава ($Ni_{81}Fe_{19}$) и требуемых магнитных параметров в настоящей работе исследовали два электролита – хлоридный и сульфатно-хлоридный, используемые в электрохимической установке с гальванической ванной [3]. В работе [4] показано, что при предварительной выдержке раствора сульфатно-хлоридного электролита в течение восьми дней могут быть получены магнитные пленки пермаллоя с оптимальными характеристиками (магнитный поток намагничивания 81 нВб, коэрцитивная сила не более 1 Э).

Процесс осаждения пленок пермаллоя оптимизирован как с точки зрения улучшенного оборудования и технологической оснастки, так и за счет выбора состава электролита и режима осаждения. Толщину пленок концентраторов измеряли с помощью анализатора микросистем MSA-500 в десяти точках на пластине. Исследование магнитных характеристик – коэрцитивной силы и потока магнитного поля, определяемого намагниченностью концентраторов в составе пластин, – проводили с помощью установки MESA-200. Состав пленочных КМП исследовали с помощью энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора PhilipsXL 40.

Электрохимическая установка с гальванической ванной для электролита объемом 3 л позволяет автоматически поддерживать его температуру и перемешивать раствор в течение всего процесса осаждения (рис.1). Электроды установки располагаются вертикально, анод – из никелевой фольги, катод – с никелевым кольцевым электродом, контактирующим с металлизированной площадкой кремниевой пластины.

Скорость осаждения и состав пермаллоевой пленки зависят от плотности тока, протекающего через области катода, ограниченные фоторезистивной маской. На рис.2 представлены зависимости скорости осаждения пленки пермаллоя от плотности тока для двух растворов электролитов – хлоридного и сульфатно-хлоридного. Из рисунка видно, что для сульфатно-хлоридного электролита S1 (при температуре 55 °С) и S2 (при температуре 65 °С) скорость осаждения составила ~100 нм/мин (рис.2, кривые 4 и 5 соответственно). Сера в составе электролита приводит к образованию шлама и хлопьев в ванне, препятствующих процессу осаждения на поверхности катода.

Для устранения нежелательных загрязнений и увеличения скорости роста пленок исследован процесс осаждения пермаллоя из хлоридного электролита с разной концентрацией железа и никеля в нем, но с одинаковым отношением атомов в растворе, соответствующем сплаву $Ni_{81}Fe_{19}$. Отмечен рост скорости осаждения до 170 нм/мин (рис.2, кривая 3). При дальнейшем повышении концентрации железа и никеля в электролите вдвое увеличивалась скорость осаждения пермаллоя, и при более высокой плотности тока она достигала 350 нм/мин (кривая 2). Данная зависимость наиболее близка к расчет-

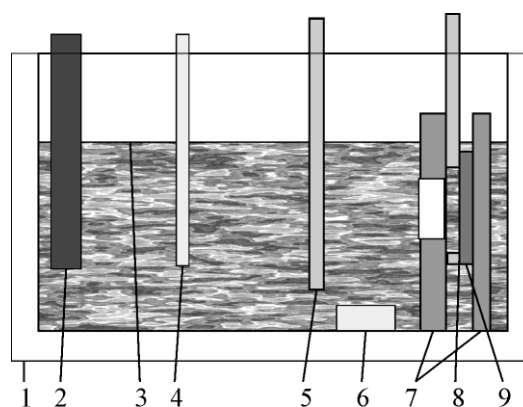


Рис.1. Электрохимическая установка с гальванической ванной: 1 – гальваническая ванна; 2 – нагреватель электролита; 3 – электролит; 4 – термопара; 5 – никелевый анод; 6 – магнитная мешалка; 7 – держатель пластины и катода; 8 – никелевый кольцевой катод; 9 – кремниевая пластина с металлизацией никелем и фоторезистивной маской

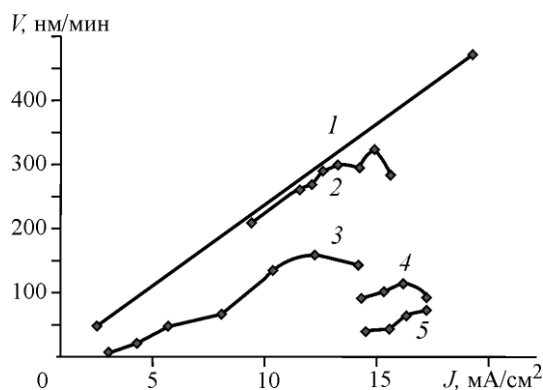


Рис.2. Зависимость скорости осаждения пленки пермаллоя от плотности тока: 1 – расчет для сплава $Ni_{81}Fe_{19}$; 2, 3 – эксперимент с хлоридным электролитом C2 и C1; 4, 5 – эксперимент с сульфатно-хлоридным электролитом S1 и S2

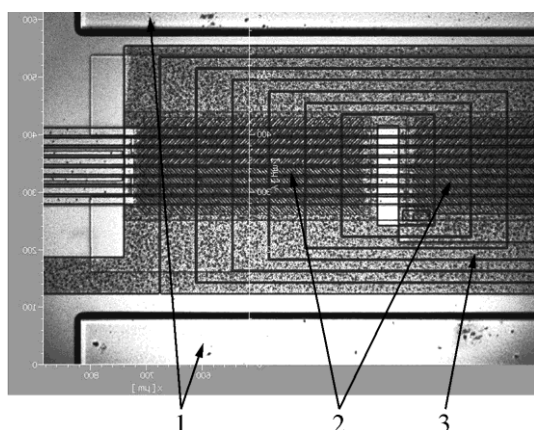


Рис.3. Микрофотография магнитного преобразователя на магниторезисторах с концентраторами: 1 – пермаллоевые пленочные концентраторы; 2 – магниторезисторы; 3 – металлическая разводка

Пленки из пермаллоя $Ni_{81}Fe_{19}$ с малыми механическими напряжениями и высокой механической прочностью могут быть использованы в составе МПМС для улучшения их технических характеристик. На рис.3 представлена микрофотография магнитного преобразователя на магниторезисторах с пленочными концентраторами.

Исследование проводилось с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники» на базе НПК «Технологический центр».

Литература

1. Развитие технологий магнитополупроводниковых микросистем / В.В. Амеличев, И.Е. Абанин, В.В. Аравин и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2015. – Т. 20. – № 5. – С. 505–510.
2. Создание интегральных компонентов усиления магнитного сигнала в беспроводной МЭМС на основе магниторезистивных элементов/ В.В. Амеличев, В.В. Аравин, А.Н. Белов и др. // Нано- и микросистемная техника. – 2013. – № 3. – С. 29–33.
3. Получение концентраторов магнитного поля с помощью электрохимического осаждения пермаллоя / Р.Д. Тихонов, А.А. Черемисинов, С.С. Генералов и др. // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 3. – С. 51–57.
4. Локальное электрохимическое осаждение пермаллоя на кремниевые пластины с магниторезистивными наноструктурами / С.В. Шаманав, Р.Д. Тихонов, А.А. Черемисинов и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2015. – Т. 20. – № 3. – С. 313–316.

Поступило 17 июня 2016 г.

Амеличев Владимир Викторович – кандидат технических наук, начальник отдела НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* разработка интегральных микросистем.

Поломоинов Сергей Александрович – кандидат технических наук, начальник лаборатории НПК «Технологический центр» (г. Москва), доцент кафедры интегральной электроники и микросистем МИЭТ. *Область научных интересов:* физика и технология элементов ИС и МЭМС.

Николаева Наталия Наумовна – начальник участка химии НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* технология химических процессов.

Тихонов Роберт Дмитриевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* проектирование и исследование биполярных и КМОП интегральных микросхем. **E-mail:** R.Tikhonov@tcen.ru

Куприянова Мария Андреевна – заместитель начальника лаборатории НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* исследование характеристик интегральных микросистем.