

МАГНИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины,
ул. Р. Люксембург, 72, Донецк, 83114, Украина, aleksandr.kosse@gmail.com

Полосовые магниторезистивные датчики в ИМС, например в устройствах на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД), изготавливают, как правило, по следующему основному технологическому циклу (без описания обычных операций, как-то: промывки, сушки, нанесения фотозасветки фоторезиста и пр.):

1. Нанесение магниторезистивного слоя методом плазменного распыления из мишени (пермаллой, Fe — 18%, Ni — 82%).
2. Формирование с помощью травления по фоторезистивной маске полосовых фигур магниторезистивных датчиков.
3. Нанесение изолирующего слоя SiO₂ методом магнетронного распыления.
4. Вытравливание окон SiO₂ над выводами датчиков травителем – смесью кислот: плавиковой HF (для химического взаимодействия непосредственно с SiO₂ по реакции $4\text{HF} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) и серной H₂SO₄ (для растворения и отвода летучего продукта реакции SiF₄).
5. Нанесение электронно-лучевым или термическим способом алюминиевого слоя.
6. Формирование подводящих (сквозь окна в SiO₂) электродов к выводам датчиков (рис. 1).

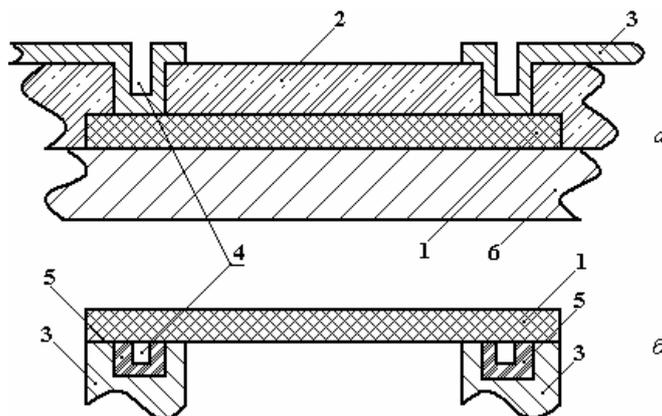


Рис. 1. Топология магниторезистивного датчика: 1 – магниторезистивный полосовой датчик, слой Fe-Ni, толщина $h=0,04$ мкм; 2 – изолирующий слой SiO₂ ($h=0,27$ мкм); 3 – алюминиевые подводящие электроды к выводам датчика ($h=0,4$ мкм); 4 – окна в SiO₂; 5 – контактные выводы датчика; 6 – ЦМД-содержащая пластина (феррит-гранат). а – вид сбоку; б – вид сверху

В пленочных магниторезистивных датчиках, особенно в форме полосы, существует сеточное ориентационное разнообразие доменных структур, связанное с размагничивающим фактором, анизотропией, магнитострикцией, внешними воздействиями при формировании слоя, состоянием подложки и т.д. (рис. 2,а) [1]. Известно также [2], что чем большее количество магнитных моментов в материале датчика изменяет свое направление вдоль измеряемого магнитного поля, тем больше соотношение (магниторезистивный эффект) $\Delta\rho/\rho_0=(\rho_0-\rho_{\perp})/\rho_0$, где ρ_0 и ρ_{\perp} – соответственно электросопротивление датчика без магнитного поля и в магнитном поле, перпендикулярном вектору тока I в плоскости пластины.

Для реализации максимально возможного в полосовом датчике магниторезистивного эффекта было использовано намагничивание формирующегося при напылении пермаллового слоя вдоль предполагаемого направления длинной стороны датчика в плоскости пластины. Таким образом, после формирования рисунка датчиков в чипах по всей феррит-гранатовой пластине была получена другая

(по сравнению с рис. 2,а) картина доменной структуры в каждом датчике (рис. 2,б). Такая картина наблюдается с помощью эффекта Керра в отраженном поляризованном свете [3]. На рис. 2,в изображено направление намагниченности в материале датчика под воздействием поля рассеяния считываемого ЦМД.

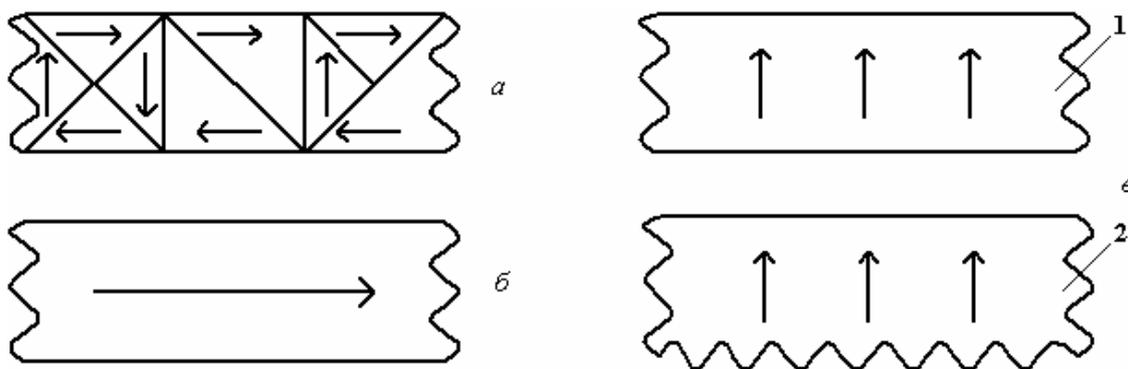
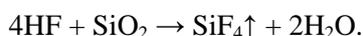


Рис. 2. Направление намагниченности в полосовом датчике при: а) напылении FeNi-слоя без магнитного поля, б) напылении FeNi-слоя с магнитным полем; в) под действием поля рассеяния ЦМД (1 – фрагмент датчика, 2 – фрагмент ЦМД)

Предварительные измерения непосредственно по слою Fe-Ni (до формирования слоев SiO₂, травления окон, напыления подводящих полос к датчику) показали существенное увеличение магниторезистивного эффекта по рис. 2,б (в среднем от 0,8 до 1,5% из 64 датчиков по всей пластине). Однако при изготовлении рабочего варианта микросхемы во время травления окон в SiO₂ оказалось, что заранее отработанное время травления окон в слое SiO₂ толщиной 0,27 мкм (температура травителя 15 ± 1°С, скорость травления SiO₂ – 0,27 мкм/мин, скорость травления FeNi – 0,04 мкм за 12 сек) резко отличается в соседних окнах каждого датчика по всей пластине. Как выяснилось позже, с учетом направления поля подмагничивания при напылении FeNi-слоя каждое окно в SiO₂ над северным полюсом датчика было недотравлено на 40–50%. При этом над южными полюсами всех датчиков по пластине окна оказались перетравлены так, что пермаллоевые выводы были вытравлены практически по всей пластине. Заметим, что время травления, температура раствора и прочие условия соблюдались согласно технологической карте.

При рассмотрении в отраженном поляризованном свете картинки последовательного травления SiO₂ в окнах через каждые 10 сек было замечено по цветовой гамме, что скорость травления окон над северными полюсами датчиков в 1,5 раза уменьшилась, а над южными – во столько же раз увеличилась. Этот факт подтвердили и непосредственные измерения толщин SiO₂ в окнах с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4. В ранее изготовленных датчиках без подмагничивающего поля при напылении FeNi такой «неприятный» факт отсутствовал. Стало окончательно ясно, что в данном случае определяющую роль в скорости травления SiO₂ играет магнитохимическая реакция



На это указывало и то, что полярная молекула HF имеет явно выраженный дипольный момент, равный 1,91D, где D – единица измерения электрического дипольного момента в системе СИ в дебаях, 1D=10⁻¹⁸ СГСЭ. При этом магнитный момент молекулы HF тоже имеет существенную величину. Так, в [4] указано, что молекула HF имеет электронный терм HF¹Σ⁺, что означает наличие проекции орбитального магнитного момента на ось молекулы величиной один магнетон Бора.

Итак, существует достоверно установленный факт недотрава в окнах над северными полюсами магниторезистивных датчиков и перетрава окон с одновременным стравливанием пермаллоя южных полюсов датчиков (травитель SiO₂ способен также реагировать с пермаллоем FeNi, поэтому передержка времени травления окон с SiO₂ допускалась в пределах двух секунд для учета неравномерности травления по площади всей пластины). Существенное изменение скорости травления SiO₂ над северными и южными полюсами дает основание предложить следующий механизм магнитохимической реакции.

Отрицательный конец F-дипольной молекулы HF стремится прикоснуться к атому Si в молекуле SiO₂, однако магнитный момент HF ориентирован так, что начало его вектора (северный

полос) находится около атома фтора, что препятствует осуществлению полноценной химической реакции с атомом кремния в SiO_2 (одноименные магнитные полюса, как известно, отталкиваются). Суммарное действие кулоновских (электрических) и магнитных сил приводит к снижению частоты соприкосновения молекул HF с молекулами SiO_2 , то есть к снижению скорости травления SiO_2 над северным полюсом датчика. Обратный эффект наблюдается над южным полюсом датчика – здесь скорость травления увеличивается.

Целью данной работы являлось не тщательное исследование магнитохимического катализа при травлении SiO_2 над намагниченными участками, а желание избавить технологов при изготовлении магнитных микросхем и других изделий, включающих магнитные материалы, от описанных неожиданных факторов. Это относится как к материалам почти идеально магнитомягким (железо-иттриевый гранат), так и к манганитовым с высокой остаточной намагниченностью. При работе с первыми следует учитывать даже направление магнитного поля Земли, так как его величина ($\approx 0,4$ Гс) сопоставима с остаточной намагниченностью идеально магнитомягких материалов.

Что касается магнито жестких материалов, то при работе с ними в жидких полярных травителях или при плазмохимической, а также ионной обработке, где имеются частицы с магнитными моментами, необходимо иметь в виду их взаимодействие с остаточной намагниченностью материала, что не всегда учитывается в технологии МИС.

Наиболее интересный и важный вывод следующий: обработку материалов (магнитных, таких как пермаллой, и немагнитных, таких как SiO_2) можно производить с применением внешних управляющих магнитных полей, формирующих необходимую плотность и направление потока реагентов, имеющих в своем составе магнитную компоненту. Например, по управляемой компьютером траектории сканирования магнитоуправляемым пучком травителя можно формировать объемные структуры. Это уже область не только микроинтегральных технологий, но и искусства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раев В.К., Ходенков Г.Е. Цилиндрические магнитные домены в элементах вычислительной техники. М.: Энергоиздат, 1981. С. 94–95.
2. Карпенков С.Х. Тонкопленочные магнитные преобразователи. М.: Радио и связь, 1985.
3. Абакумов Б.М., Панышин И.А., Подпальный Е.А., Степанов Б.М., Фабриков В.А. Регистрация оптической информации на тонкие магнитные пленки. М.: Атомиздат, 1976.
4. Годнев И.Н., Краснов К.С., Воробьев Н.К., Васильева В.Н., Васильев В.П., Киселева В.Л., Белоногов К.Н. Физическая химия: Учеб. пособие для хим.-тех. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1982. С. 75–85.

Поступила 11.05.10

Summary

Mechanism of uneven chemical etching of quartz insulating covering layer (SiO_2) in the etching windows over outflow sites of magnetoresistive sensors in a plate with ICs chips (Integrated Circuits) was studied. A reason why a significant difference in the rate of SiO_2 etching over the northern (N) and south (S) magnetic poles induced in the strip sensors during plasma deposition of magnetoresistive layer (iron-nickel alloy in the ratio of Fe – 18%, Ni – 82% in a plasma spraying setup UPR-1) is analyzed. A mechanism of not full etching of SiO_2 windows over the north pole of magnetoresistive sensor is revealed. It leads to through-etching of permalloy layer. The reason for this is significant contribution of interaction energy of the magnetic moment of the molecule etchant of hydrofluoric acid HF with scattering magnetic field of the magnetoresistive sensor. The resultant magnetochemical mechanism of interaction between HF and SiO_2 leads to increased chemical interaction of F-HF in molecule over the southern pole of the sensor. This leads to etching of permalloy layer in the southern output areas of the sensors of all the chip plates.